

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAFAELA CRISTINA FARIA OSÓRIO

ESTUDO DO POTENCIAL REÚSO INDUSTRIAL DE ÁGUA NÃO POTÁVEL A
PARTIR DE EFLUENTES DOMÉSTICOS TRATADOS

CURITIBA
2013

RAFAELA CRISTINA FARIA OSÓRIO

ESTUDO DO POTENCIAL REÚSO INDUSTRIAL DE ÁGUA NÃO POTÁVEL A
PARTIR DE EFLUENTES DOMÉSTICOS TRATADOS

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, no Curso de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Universidade Federal do Paraná (UFPR) em convênio com o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do Paraná (SENAI-PR) e com a *Universität Stuttgart*.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Daniela Neuffer
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Karen Juliana do Amaral.

Área de concentração: Processos da engenharia do meio ambiente.

Linha de Pesquisa: Técnicas de abastecimento e tratamento de água.

CURITIBA
2013

O83e

Osório, Rafaela Cristina Faria

Estudo do potencial reúso industrial de água não potável a partir de efluentes domésticos tratados / Rafaela Cristina Faria Osório. – Curitiba, 2013.

141f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Exatas, Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, 2013.

Orientadora: Daniela Neuffer -- Co-orientadora: Karen Juliana do Amaral.
Bibliografia: p. 129-138.

1. Recursos hídricos. 2. Água - Reuso. 3. Saneamento doméstico. 4. Águas residuais - Eliminação - Curitiba, Região Metropolitana de (PR) I. Universidade Federal do Paraná. II. Neuffer, Daniela. III. Amaral, Karen Juliana do. IV. Título.

CDD: 363.7284

TERMO DE APROVAÇÃO

RAFAELA CRISTINA FARIA OSÓRIO

ESTUDO DO POTENCIAL DO REUSO INDUSTRIAL DE ÁGUA NÃO POTÁVEL A PARTIR DE EFLUENTES DOMÉSTICOS TRATADOS

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com SENAI-PR e a *Universität Stuttgart*, Alemanha, pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a):


Prof^a. Dr^a. **DANIELA NEUFFER**
MAUI/STUTTGART


Prof^a. Dr^a. **PATRICIA BILOTTA**
UNIVERSIDADE POSITIVO


Prof^a. Dr^a. **ARISLETE DANTAS DE AQUINO**
MAUI/UFPR




Prof(a). Dr(a). MARGARETE CASAGRANTE LASS ERBE
Coordenadora do TC/MAUI-UFPR

Curitiba, 31 de julho de 2013.

À Deus, pela vida.

*À minha filha Vitória Osório Noce,
minha maior conquista e inspiração de viver.*

*Ao meu marido Augusto Mercer Noce,
grande amigo e incentivador,
com quem compartilho essa conquista,
por todo seu amor.*

AGRADECIMENTOS

Às Professoras Daniela Neuffer e Karen Juliana do Amaral, por todo apoio, atenção, dedicação, incentivo e ideias transmitidas no desenvolvimento desta pesquisa.

Às instituições SENAI-PR, UFPR e *Universität Stuttgart* pela estrutura concedida e a todos os professores do Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (MAUI), em especial à Professora Marielle F. Rebelatto.

A todas as indústrias que aceitaram participar desta pesquisa.

Ao Instituto das Águas do Paraná, em especial à Jaqueline Dorneles pelas contribuições.

À Carlos Santos, Josiel Santos, Soano Wacheski, Marcos Aurélio Brennsen, Thiago Marenda e Jaqueline Shirado, Elisabeth e Gregory Brow pelas contribuições realizadas.

À Elisângela Merini, João Antônio Merini, Raimunda Pires, Ângela Doubek e Eidilaine Ribeiro pela amizade, auxílio e incentivo.

À Nara Mercer Noce pela ajuda e atenção.

Aos meus pais Marlene Osório e Pedro Osório, por todo apoio, carinho e amor sempre presentes.

À Augusto Mercer Noce por todas as contribuições realizadas, e principalmente pelo companheirismo, incentivo, ensinamento, dedicação, compreensão, paciência e amor que foram de fundamental importância para o desenvolvimento desta pesquisa.

À DEUS, por tudo isso!

RESUMO

A presente dissertação é uma proposta de recuperação de efluentes domésticos com a finalidade de reúso não potável em indústrias de pólo industrial situado na Região Metropolitana de Curitiba, região Sul do Brasil. Com este propósito, foram inventariadas demandas potenciais de águas de reúso que poderiam substituir a utilização de águas de abastecimento público e de captação privada em diversos segmentos industriais. Fez-se uso de bancos de dados da companhia de saneamento local, do Instituto das Águas do Paraná (órgão regional gestor de recursos hídricos) e um levantamento empreendido em indústrias alvo, limitadas por critérios de consumo de água e distanciamento em relação a ETE objeto de estudo. De posse destes dados constatou-se um elevado potencial para consumo de água de reúso pelas indústrias inventariadas, refletindo em um potencial de cerca de 80% do volume de água consumida pelo pólo industrial da região estudada. Aplicou-se como critério de avaliação, um raio limite próximo de 10 km da ETE, sendo que mais de 45% das unidades fabris inventariadas situam-se dentro de um raio de 5 km em relação a ETE, reforçando a possibilidade de viabilizar o fornecimento de água de reúso produzida na mesma ETE a partir do tratamento avançado de efluentes domésticos. Averiguou-se também que os principais segmentos industriais passíveis de reúso no local são os ramos de química e de energia. Os usos majoritários de água ocorrem em sistemas de resfriamento que respondem pelo consumo de quase 50% de todo o volume utilizado pelas indústrias químicas da localidade. Nos setores de energia e de madeira, a demanda de água para os sistemas de geração de vapor ultrapassa a marca de 80% do volume total consumido por indústrias desta natureza. O volume de água estimado como potencial de reúso no pólo industrial, considerando o escopo e critérios da pesquisa, é próximo de 800.000 m³/mês, volume este que certamente pode representar a conservação de mananciais. Em termos de consumo *per capita* (220 L/hab.dia) este volume seria suficiente para abastecer uma cidade com mais de 120.000 habitantes. No presente trabalho foram apresentadas três alternativas de tratamento para a recuperação da água: (a) sistema composto por lodos ativados com aeração prolongada e desinfecção com ultravioleta, (b) sistema de coagulação química e filtração direta com desinfecção por processos oxidativos avançados, (c) sistema composto por biorreator com membranas, objetivando-se a produção de água de reúso industrial.

Palavras-chave: Recursos hídricos. Reúso de água. Esgoto doméstico. Tratamento de efluentes. Curitiba (PR) – Região Metropolitana.

ABSTRACT

The present dissertation proposes the recuperation of domestic effluents for non-potable reuse in an industrial area located in a metropolitan region of Curitiba, in southern Brazil. For this purpose, an inventory was developed for the potential demands for reused water, which could replace the use of the public water supply and private use in several industrial segments. Databases were used from a local water supply company as well as from the *Instituto das Águas do Paraná* (a regional water resources management agency), and a data collection employed in target industries, which are limited by water consumption and distance criteria in relation to a Waste Water Treatment Plant (WWTP), the object of study. Through the use of this data, it was verified an elevated potential for consumption of reused water by the inventoried industries — around 80% of the water volume consumed by the industrial area of the region studied. A radius of 10 km from the WWTP was applied as an evaluation criterion, considering that more than 45% of the inventoried manufacturing units are located within a radius of 5 km from the WWTP, which reinforces the possibility of supplying reused water after advanced treatment of domestic effluents. It was also verified that the main industrial segments able to utilize reused water are from the chemical and energy sectors. Major water uses occur in cooling systems, which consume around 50% of the total volume of water used by the local chemical industries. In the energy and logging sectors, the water demand for steam generation systems exceeds 80% of the total volume of water consumed by similar industries. The volume of water estimated as a potential for reuse in the industrial area, considering the scope and research criteria, is around 800.000 m³/month and is certainly significant in the conservation of fresh water resources. In terms of per capita consumption (220 L/habitant.day), this volume would be sufficient to supply a city with more than 120,000 people. In this paper, three proposals are presented for water recuperation: (a) system composed by activated slugged with prolonged aeration and ultraviolet, (b) system with chemical coagulation and direct filtration with advanced oxidative processes, and (c) system composed by bioreactor with membranes, in order to produce water for industrial reuse.

Keywords: Water resources. Water reuse. Domestic sewage. Wastewater treatment. Curitiba (PR) - Metropolitan Region.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - UNIDADES HIDROGRÁFICAS NO ESTADO DO PARANÁ	19
FIGURA 2 - FORMAS POTENCIAIS DE REÚSO DE EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO	31
FIGURA 3 - REÚSO INDUSTRIAL MACRO EXTERNO	39
FIGURA 4 - FORMAS POTENCIAIS DE REUSO EM INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS	41
FIGURA 5 - PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS, ECONÔMICOS E SOCIAIS ..	43
FIGURA 6 - TIPOS DE REÚSO E SEUS RESPECTIVOS NÍVEIS DE TRATAMENTO	47
FIGURA 7 - FLUXO METODOLÓGICO EMPREGADO NA PESQUISA.....	82
FIGURA 8 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ETE OBJETO DE ESTUDO.....	86
FIGURA 9 - IDENTIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES E UNIDADES DE TRATAMENTO DA ETE.....	87
FIGURA 10 - SISTEMA DE GRADEAMENTO	88
FIGURA 11 - SISTEMA DE GRADEAMENTO	88
FIGURA 12 - SISTEMA DE ESCOAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E CAÇAMBAS DO TIPO <i>BROOKS</i>	89
FIGURA 13 - VISTA GERAL DA LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO	89
FIGURA 14 - VISTA AÉREA DA ETE COM DELIMITAÇÃO DOS RAIOS DE 3 km, 5 km E 10 km NO SEU ENTORNO E INDICAÇÃO DE ALGUNS SEGMENTOS INDUSTRIAIS DE REFERÊNCIA.....	93
FIGURA 15 - UNIDADES DE TRATAMENTO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁGUA (ALTERATIVA A).....	113
FIGURA 16 - UNIDADES DE TRATAMENTO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁGUA (ALTERNATIVA B)	116
FIGURA 17 - UNIDADES DE TRATAMENTO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁGUA (ALTERNATIVA C).....	118

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PRINCIPAIS DEMANDAS HÍDRICAS NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO PARANÁ	21
TABELA 2 - DEMANDA HÍDRICA POR ATIVIDADE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGUAÇU	22
TABELA 3 - QUALIDADE DA ÁGUA APÓS TRATAMENTO POR DIFERENTES MODALIDADES DE LODOS ATIVADOS.....	28
TABELA 4 - CLASSIFICAÇÃO DOS PAÍSES COM MAIORES ÍNDICES DE REÚSO DE ÁGUA NO MUNDO	32
TABELA 5 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA EM ÂMBITO MUNDIAL (km ³ /ano).....	36
TABELA 6 - CONSUMO MÉDIO DE ÁGUA EM DETERMINADOS SEGMENTOS INDUSTRIAIS.....	37
TABELA 7 - CLASSES DE ÁGUA DE REÚSO DEFINIDOS PELA NBR 13.969 E PADRÕES DE QUALIDADE	48
TABELA 8 - CATEGORIAS DE ÁGUA EM FUNÇÃO DO SEU GRAU DE QUALIDADE.....	49
TABELA 9 - REQUISITOS DE QUALIDADE PARA ÁGUA DE ALGUNS SEGMENTOS INDUSTRIAIS.....	49
TABELA 10 - REQUISITOS DE QUALIDADE DE ÁGUA UTILIZADA EM SISTEMAS DE RESFRIAMENTO, COM E SEM RECIRCULAÇÃO	51
TABELA 11 - QUALIDADE RECOMENDADA PARA ÁGUA UTILIZADA EM CALDEIRAS	53
TABELA 12 - REQUISITOS DE QUALIDADE DE ÁGUA PRODUZIDA PELO PROJETO AQUAPOLO	54
TABELA 13 - CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA E REQUISITOS DE QUALIDADE DA ÁGUA PRODUZIDA NA ETA INDUSTRIAL DE CURITIBA.....	55
TABELA 14 - INDÚSTRIAS QUE UTILIZAM EFLUENTE URBANO TRATADO EM TÓQUIO	59
TABELA 15 - FINALIDADE DO EFLUENTE URBANO TRATADO UTILIZADO PELAS INDÚSTRIAS EM TÓQUIO.....	59

TABELA 16 - QUALIDADE DA ÁGUA E PRINCIPAIS PARÂMETROS DE QUALIDADE APÓS TRATAMENTO POR MBR	66
TABELA 17 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO EM BIORRETORES COM MEMBRANA SUBMERSA	67
TABELA 18 - EFICIÊNCIA DE OXIDAÇÃO COM OZÔNIO	76
TABELA 19 – CONSUMO TOTAL DE ÁGUA PELAS INDÚSTRIAS DA REGIÃO ESTUDADA.....	101
TABELA 20 – COMPARATIVO ENTRE A QUALIDADE REQUERIDA PARA USO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA E A QUALIDADE DO EFLUENTE FINAL TRATADO NA ETE, CONSIDERANDO A CONFIGURAÇÃO ATUAL DE PROCESSO	104
TABELA 21 – VAZÕES E VOLUMES MENSAIS DE AFLUENTES RECEPCIONADOS NA ETE, 2011-2012.....	106
TABELA 22 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DO AFLUENTE (ESGOTO BRUTO), 2011-2012	106
TABELA 23 – CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE APÓS TRATAMENTO EM REATOR ANAERÓBIO, 2011-2012	108
TABELA 24 – CARACTERÍSTICAS DO AFLUENTE, EFLUENTE PÓS REATOR E EFLUENTE FINAL, 2011-2012	111
TABELA 25 – ALTERNATIVA DE TRATAMENTO BASEADA EM LODOS ATIVADOS COM AERAÇÃO PROLONGADA + RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA (a)	114
TABELA 26 – ALTERNATIVA DE TRATAMENTO UTILIZANDO COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO COM FILTRAÇÃO DIRETA + DESINFECÇÃO COMBINADA DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO E RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA (b)	116
TABELA 27 – ALTERNATIVA DE TRATAMENTO UTILIZANDO BIORREATOR COM MEMBRANAS (c)	119
TABELA 28 – COMPARAÇÃO ENTRE AS EFICIÊNCIAS DAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO ALTERNATIVAS EM RELAÇÃO AOS CRITÉRIOS ADOTADOS PARA ÁGUA DE REÚSO.....	120
TABELA 29 – CONSUMO INDUSTRIAL DE ÁGUA E ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE REÚSO.....	122
TABELA 30 – COMPARAÇÃO ESTIMADA DE CUSTOS DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO E ÁGUA DE REÚSO	126

LISTA DE SIGLAS

ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	-	Agência Nacional de Águas
AWWA	-	<i>American Water Works Association</i>
CETESB	-	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CSL	-	Concessionária de Saneamento Local
CONAMA	-	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	-	Carbono Orgânico Total
COV	-	Carbono Orgânico Volátil
DBO	-	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DOU	-	Diário Oficial da União
DQO	-	Demanda Química de Oxigênio
EEE	-	Estação Elevatória de Esgoto Bruto
ETA	-	Estação de Tratamento de Água
ETE	-	Estação de Tratamento de Efluente
FD	-	Filtração Direta
GAC	-	Carvão Ativado Granulado
IAP	-	Instituto Ambiental do Paraná
IBGE	-	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LEED	-	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
LAAP	-	Lodos Ativados com Aeração Prolongada
LAC	-	Lodos Ativados Convencional
MBR	-	Biorreator com Membrana
MF	-	Microfiltração
NBR	-	Norma Brasileira
NF	-	Nanofiltração
OMS	-	Organização Mundial da Saúde
ONU	-	Organização das Nações Unidas
PAC	-	Carvão Ativado em Pó
PCRA	-	Programa de Conservação e Reúso de Água
PFU	-	unidade formadora de placa
pH	-	potencial Hidrogeniônico

PNUMA	-	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
POA	-	Processos Oxidativos Avançados
RMC	-	Região Metropolitana de Curitiba
SABESP	-	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SANEPAR	-	Companhia de Saneamento do Paraná
ST	-	Sólidos Totais
SST	-	Sólidos Suspensos Totais
SSV	-	Sólidos Suspensos Voláteis
SDT	-	Sólidos Dissolvidos Totais
SDV	-	Sólidos Dissolvidos Voláteis
USEPA	-	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
UF	-	Ultrafiltração
UJT	-	unidade Jackson de turbidez
uH	-	unidade Hazen
UNT	-	unidades Nefelométricas de turbidez
UV	-	Ultravioleta
WHO	-	<i>World Health Organization</i>
µg	-	micrograma
µg.L ⁻¹	-	micrograma por litro
µS.cm ⁻¹	-	microSiemens por centímetro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Geral.....	16
1.1.2	Específicos	16
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	17
2.1.1	Distribuição de água no Brasil.....	17
2.1.2	Distribuição de água no Paraná.....	19
2.1.3	Demandas hídricas do Paraná	20
2.2	POLUIÇÃO DA ÁGUA	22
2.2.1	Poluição em Curitiba e região.....	23
2.2.2	Tratamento de efluentes.....	25
2.2.2.1	Tratamento secundário.....	27
2.3	REÚSO DE ÁGUA.....	29
2.3.1	Formas potenciais de reúso	30
2.3.2	O reúso de água no mundo	31
2.4	REÚSO INDUSTRIAL DE ÁGUA.....	35
2.4.1	Usos de água na indústria	36
2.4.2	Formas de reúso de água na indústria	38
2.4.3	Requisitos de qualidade de água.....	44
2.4.4	Requisitos de qualidade para reúso industrial	46
2.4.5	Reúso de efluente doméstico tratado - Caso Coats Corrente	56
2.4.6	Reúso de efluente doméstico tratado - Projeto Aquapolo.....	57
2.4.7	Reúso de efluente tratado - Japão.....	58
2.5	TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁGUA.....	59
2.5.1	Separação por membranas	61
2.5.2	Biorreator com Membrana (MBR).....	65
2.5.3	Carvão ativado.....	68
2.5.4	Radiação Ultravioleta (UV)	69
2.5.5	Processos Oxidativos Avançados (POA).....	71
2.5.5.1	Dióxido de Cloro (ClO ₂)	72
2.5.5.2	Ozônio (O ₃).....	74
2.5.5.3	Peróxido de Hidrogênio (H ₂ O ₂).....	77
3	METODOLOGIA.....	82
3.1	COMPOSIÇÃO DO INVENTÁRIO DE INDÚSTRIAS E DEMANDAS HÍDRICAS.....	83
3.2	REQUISITOS DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA ATIVIDADES INDUSTRIAIS	

3.3	PROPOSTA DE TRATAMENTO PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO	85
3.3.1	<i>Caracterização do afluente e efluente da Estação de Tratamento de Esgoto</i>	89
3.3.2	<i>Alternativas para recuperação de água</i>	90
3.4	AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REÚSO INDUSTRIAL DE EFLUENTES TRATADOS NA ETE	91
3.4.1	<i>Estimativa do potencial de reuso de água</i>	91
3.4.2	<i>Estimativa de custos com água de abastecimento e água de reuso</i>	92
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	93
4.1.	COMPOSIÇÃO DO INVENTÁRIO DE INDÚSTRIAS E DEMANDAS HÍDRICAS NO DISTRITO INDUSTRIAL	93
4.1.1	<i>Distanciamento das indústrias inventariadas em relação à ETE</i>	93
4.1.2	<i>Fornecimento de águas de abastecimento público</i>	95
4.1.3	<i>Outorgas para captações de águas subterrâneas</i>	96
4.1.4	<i>Distribuição interna de água nos segmentos industriais</i>	97
4.1.5	<i>Consumo total de água pelas indústrias inventariadas</i>	101
4.2.	COMPARAÇÃO ENTRE OS REQUISITOS DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA DETERMINADOS USOS INDUSTRIAIS E OS PADRÕES FORNECIDOS PELA ETE	103
4.3.	PROPOSTA DE TRATAMENTO PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO	105
4.3.1.	<i>Caracterização do afluente e efluente da Estação de Tratamento de Esgoto</i>	105
4.3.1.1.	<i>Levantamento quantitativo do afluente</i>	105
4.3.1.2.	<i>Composição qualitativa do afluente</i>	106
4.3.1.3.	<i>Caracterização do efluente tratado</i>	107
4.3.2.	<i>Alternativas para recuperação de água</i>	112
4.4.	AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REÚSO INDUSTRIAL DE EFLUENTES TRATADOS DA ETE	121
4.4.1.	<i>Estimativa do potencial de reúso</i>	121
4.4.2.	<i>Estimativa de custos com águas de abastecimento público e água de reúso</i>	125
5	CONCLUSÃO	127
	REFERÊNCIAS	129
	APÊNDICES	139

1 INTRODUÇÃO

A exagerada demanda por mananciais para abastecimento público e industrial é consequência direta da tentativa de sustentar o crescimento demográfico e os padrões de consumo da sociedade moderna.

A água, por muito tempo, foi considerada um recurso inexaurível, acarretando formas flagelantes de exploração dos recursos hídricos. Os mananciais do planeta estão secando em ritmo acelerado (FLORENCIO *et al.*, 2006; TELLES *et al.*, 2010).

Atualmente mais de 2,2 milhões de pessoas morrem anualmente em função do consumo de água contaminada e da carência de saneamento. Doenças de veiculação hídrica estão entre as causas mais comuns de morte no mundo e afetam principalmente países em desenvolvimento. Andreolli (2012) ressalta que são gerados, aproximadamente, 18 bilhões de litros de esgoto doméstico por dia. O lançamento de efluentes domésticos, mesmo que previamente tratados, em corpos hídricos próximos a pontos de captação de água pode acarretar sérios impactos negativos a corpos hídricos (DANIEL *et al.*, 2001; TELLES *et al.*, 2010), entre eles, vale destacar, o aumento de matéria orgânica dissolvida, o que certamente poderá alterar as características da água captada para tratamento.

Nesta conjuntura, o uso racional da água é uma ideologia que ascende em grande parte do globo. Alguns povos atingiram seus limites de exploração de recursos hídricos e, assim, viram-se forçados a procurar outros métodos para suprir suas necessidades e um deles é o reúso de água.

O reúso de água, em especial de efluentes domésticos tratados, é uma das práticas que vem sendo incorporada por diversos países. Israel recicla 80% do efluente doméstico gerado, sendo que desse volume, 90% é encaminhado para a agricultura. No Japão, 40% do volume de efluente urbano tratado é reutilizado por indústrias (JIMÉNEZ e ASANO, 2008; LIBHABER, 2012; CROOK, 2012).

A disponibilidade de esgoto doméstico é constante, fator esse que viabiliza o reúso. A reutilização de efluentes domésticos tratados proporciona vários benefícios, tais como: a redução da captação dos recursos hídricos naturais; a reciclagem de nutrientes na agricultura, com economia de insumos (adubos e fertilizantes, p. ex.); a

redução do lançamento de efluentes em corpos hídricos contribuindo para a prevenção da poluição (FLORENCIO, *et al.*, 2006).

Dentro desse contexto, a pesquisa descrita a seguir, tem por objetivo avaliar o potencial de reúso de água, através da utilização de efluentes domésticos tratados em indústrias de pólo industrial localizado na região sul do Brasil.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Estudar o potencial do reúso industrial de água não potável, a partir de efluentes domésticos tratados em Estação de Tratamento de Esgotos domésticos, em indústrias situadas em pólo industrial de Curitiba e região metropolitana, no sul do Brasil.

1.1.2 Específicos

- a) Compilar inventário com demandas de águas superficiais e águas subterrâneas em pólo industrial no entorno da ETE em estudo.
- b) Comparar requisitos de qualidade para usos industriais com as características do efluente doméstico final tratado na ETE.
- c) Elaborar proposta de tratamento com a finalidade de produção de água de reúso para aproveitamento industrial, a partir dos efluentes líquidos da ETE em estudo.
- d) Avaliar, quantitativa e qualitativamente, o potencial de reúso industrial de efluente doméstico tratado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Em ordem de grandeza, o planeta é constituído de 75% de água e 25% de superfície terrestre. Da parcela mais expressiva, 97,5% é computada como água salgada, enquanto que somente 2,5% perfaz a água doce (ANA, 2011; ROCHA *et al.*, 2004). De acordo com a Agência Nacional de Águas (2007), a disponibilidade mundial de recursos hídricos é da magnitude de $1,5 \text{ milhões de m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

2.1.1 Distribuição de água no Brasil

As Américas constituem o continente que possui a maior reserva disponível de água doce de superfície, conforme apresentado no GRÁFICO 1, sendo que a América do Sul é o continente americano que possui a maior reserva do mesmo recurso hídrico e, nomeadamente, em terras brasileiras se totaliza 12% da disponibilidade hídrica mundial e 28% da água doce presente no continente americano, como ilustrado no GRÁFICO 2 (ANA, 2007).

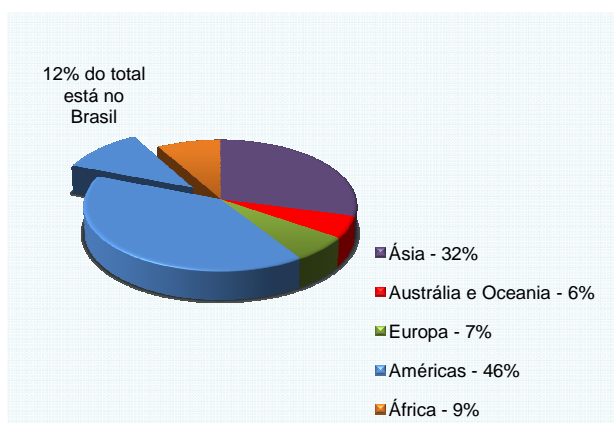


GRÁFICO 1 – DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DOCE NOS CONTINENTES
FONTE: ANA (2007), modificado pela autora (2013)

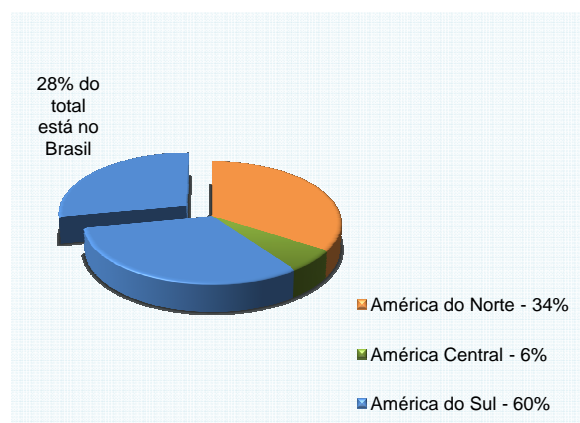


GRÁFICO 2 – REPARTIÇÃO DE ÁGUA DOCE NAS AMÉRICAS
FONTE: ANA (2007), modificado pela autora (2013)

De fato, o Brasil detém parcela representativa do patrimônio hídrico mundial, sendo que a vazão média anual dos rios em território nacional é de aproximadamente 180 mil $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ (ANA, 2007).

No entanto, a distribuição de água entre os estados brasileiros é muito desigual. As condições climáticas brasileiras repercutem um fator que cumpre considerável influência na quantidade de água disponível nas diferentes regiões no país. Enquanto que na Região Hidrográfica Amazônica, a disponibilidade de recursos hídricos é abundante, alcançando vazões de cerca de 74 mil $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$; a região de maior escassez de água que compreende a Paraíba e o Rio Grande do Norte, além de grande porção do Ceará, Pernambuco, Alagoas e um pequeno trecho do Piauí, exibe disponibilidade hídrica inferior a 100 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ (ANA, 2010).

A Região Hidrográfica do Paraná é a terceira mais extensa do Brasil, concentrando 30% da demanda de água do país, com cerca de 880.000 km^2 de área, e aproximadamente 10% do território brasileiro, abrangendo os estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás, Santa Catarina e Distrito Federal. Contudo, possui apenas 6% da disponibilidade hídrica do país (ANA, 2010), sendo a região hidrográfica mais populosa e mais urbanizada do Brasil, concentrando em torno de 36% da população nacional (ANA, 2010; ANA, 2012).

A região supracitada possui um expressivo e diversificado parque industrial, concentrado em algumas bacias, como no Alto Tietê, que abriga 40% dos estabelecimentos industriais do país e; na bacia do rio Piracicaba, onde está concentrado o segundo maior pólo industrial do Brasil, além da presença do maior complexo siderúrgico da América Latina (ANA, 2012).

No Estado do Paraná houve um expressivo crescimento industrial no entorno das áreas urbanas, mais fortemente nos segmentos química, automotiva, agroindústria, papel e celulose. Aproximadamente 34% das indústrias locais estão na bacia do rio Iguaçu, e desse percentual mais de 50% encontra-se na porção do alto Iguaçu (ANA, 2012).

2.1.2 Distribuição de água no Paraná

O território paranaense possui disponibilidade hídrica superficial da ordem de $1,2 \text{ mil m}^3.\text{s}^{-1}$, sem considerar a contribuição dos rios Paraná e Paranapanema. As bacias dos rios Iguaçu e Ivaí colaboram com praticamente a metade deste valor, caracterizando-se assim, as duas bacias com maior disponibilidade hídrica superficial do Estado (SEMA, 2011). A distribuição das bacias hidrográficas no Estado do Paraná é ilustrada na FIGURA 1.



LEGENDA:

- (1) Paraná 3
- (2) Piquiri/Paraná 2
- (3) Afluentes do baixo Iguaçu
- (4) Baixo Ivaí/Paraná 1
- (5) Pirapó/Paranapanema 3/Paranapanema 4
- (6) Alto Ivaí
- (7) Afluentes do médio Iguaçu
- (8) Alto Tibagi
- (9) Baixo Tibagi
- (10) Alto Iguaçu/Afluentes do Rio Negro/Afluentes do Rio Ribeira
- (11) Itararé/Cinzas/Paranapanema 1/Paranapanema 2
- (12) Litorânea
- (13) Corpos d'água
- (14) Ilhas

FIGURA 1 - UNIDADES HIDROGRÁFICAS NO ESTADO DO PARANÁ

FONTE: SEMA (2013), modificada pela autora (2013)

Considerando a disponibilidade hídrica relativa, isto é, o volume de água por habitante, no Estado do Paraná, a bacia do Paranapanema 1 e a unidade hidrográfica do Alto Iguaçu e afluentes do Ribeira não atendem o recomendado pela ONU ($1.500 \text{ m}^3/\text{hab.ano}$), apresentando um déficit por habitante de 215 e $431 \text{ m}^3/\text{hab.ano}$, respectivamente. Quando excluída a contribuição do Ribeira, torna-se ainda mais crítica a situação do Alto Iguaçu, neste caso, o déficit por habitante de aproximadamente $1.000 \text{ m}^3/\text{hab.ano}$, em uma região que concentra cerca de 30% da população paranaense (SEMA, 2011).

2.1.3 Demandas hídricas do Paraná

O Estado do Paraná apresenta demanda hídrica total de aproximadamente 51.364 L.s^{-1} . O uso majoritário de água no território paranaense se presta ao abastecimento público, consumo este que representa cerca de 42% da demanda hídrica total no estado (GRÁFICO 3).

No GRÁFICO 3 é apresentada uma síntese geral das demandas hídricas no Estado do Paraná.

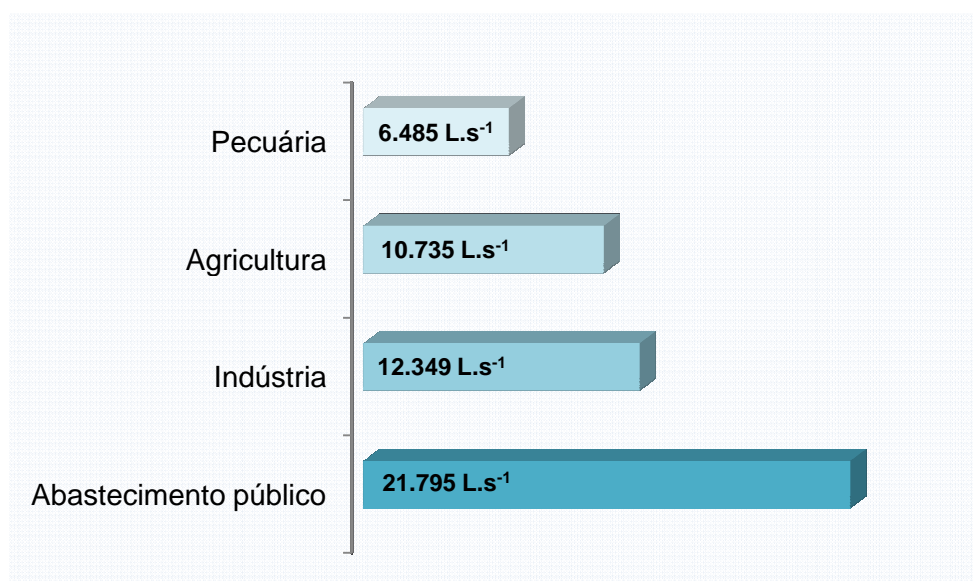


GRÁFICO 3 – SÍNTESE DAS DEMANDAS HÍDRICAS DE TODO O ESTADO DO PARANÁ
FONTE: SEMA (2011), modificado pela autora (2013)

As demandas ao longo das bacias e sub-bacias hidrográficas do estado variam bastante, dependendo da concentração urbana, atividades industriais, agricultura e pecuária (SEMA, 2011). Na TABELA 1 são listadas as bacias hidrográficas situadas no território paranaense seguidas da indicação do principal uso de água registrado em cada bacia e a respectiva demanda hídrica decorrente desse uso.

TABELA 1 - PRINCIPAIS DEMANDAS HÍDRICAS NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO PARANÁ

BACIA	PRINCIPAL USO	DEMANDA HÍDRICA ($L.s^{-1}$) ⁽¹⁾
Bacia das Cinzas	Abastecimento público	487
Bacia do Iguaçu	Abastecimento público	10.324
Bacia de Itararé	Industrial	497
Bacia do Ribeira ⁽²⁾	Abastecimento público	410
Bacia do Ivaí ⁽³⁾	Agrícola	3.405
Bacia Litorânea	Abastecimento público	618
Bacia do Tibagi ⁽⁴⁾	Abastecimento público	3.456
Bacia do Pirapó	Industrial	1.142
Bacia do Piquiri	Abastecimento público	1.042
Bacia do Paranapanema I	Agrícola	424
Bacia do Paranapanema II	Agrícola	217
Bacia do Paranapanema III ⁽⁵⁾	Agrícola	508
Bacia do Paranapanema IV	Pecuário	275
Bacia do Paraná I	Agrícola	667
Bacia do Paraná II	Pecuário	130
Bacia do Paraná III ⁽⁶⁾	Abastecimento público	1.343

NOTA: ⁽¹⁾ a demanda de uso de água para atividade de mineração não está considerada nos valores apresentados nesta tabela. ⁽²⁾ a demanda por uso de água para o setor industrial na Bacia do Ribeira é também bastante relevante, perfazendo cerca de 255 $L.s^{-1}$. ⁽³⁾ o setor industrial na Bacia do Ivaí responde por cerca de 1.656 $L.s^{-1}$. ⁽⁴⁾ o setor industrial na Bacia do Tibagi responde por cerca de 3.352 $L.s^{-1}$. ⁽⁵⁾ o setor industrial na Bacia do Paranapanema III responde por cerca de 384 $L.s^{-1}$. ⁽⁶⁾ o setor industrial na Bacia do Paraná III responde por cerca de 641 $L.s^{-1}$

FONTE: SEMA (2011), modificado pela autora (2013)

A região que concentra o maior número de usuários e apresenta a maior demanda por água é a unidade hidrográfica do Alto Iguaçu e afluentes do Ribeira. A bacia hidrográfica do rio do Iguaçu é dividida em unidades hidrográficas ou sub-bacias denominadas: Alto Iguaçu, Médio Iguaçu e Baixo Iguaçu, sendo que a capital do estado localiza-se no Alto Iguaçu (SEMA, 2011).

No que se refere ao uso industrial de recursos hídricos, de acordo com dados da SEMA (2011), as bacias que possuem as maiores demandas são:

- Tibagi, com aproximadamente 3.350 $L.s^{-1}$;
- Iguaçu, com uma demanda de cerca de 3.000 $L.s^{-1}$ (TABELA 2); e,
- Ivaí, com 1.650 $L.s^{-1}$.

Na TABELA 2 são indicadas as demandas de água por atividade em cada unidade hidrográfica da bacia do Iguaçu.

TABELA 2 - DEMANDA HÍDRICA POR ATIVIDADE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGUAÇU

BACIA	SUB-BACIA	ABASTECIMENTO PÚBLICO	DEMANDAS HÍDRICAS (L.s ⁻¹)			TOTAL
			SETOR INDUSTRIAL	SETOR AGRÍCOLA	SETOR PECUÁRIO	
Iguaçu	Alto Iguaçu	8.095	1.555	1.066	152	10.868
	Médio Iguaçu	650	772	498	253	2.173
	Baixo Iguaçu	1.579	674	135	1.129	3.516

FONTE: SEMA (2011), modificado pela autora (2013)

As sub-bacia do alto Iguaçu possui a maior demanda de água de abastecimento público da região, isso ocorre pelo fato de que esta região hidrográfica abrange a capital do estado, onde está localizada a maior população urbana do estado. O setor industrial nesta região também apresenta uma densa concentração, especialmente na cidade de Curitiba (bairros: CIC - Cidade Industrial de Curitiba e Tatuquara) e Araucária (município da região metropolitana).

2.2 POLUIÇÃO DA ÁGUA

Cunha *et al.* (2011), comentam que o maior problema ambiental brasileiro é o fato da maior parte dos rios que atravessam as cidades brasileiras estarem deteriorados. Essa poluição é causada pelo despejo dos efluentes dos esgotos *in natura*; outro problema está no lançamento de efluente industrial sem tratamento nos rios ou que não atendam aos critérios estabelecidos em legislação, o que pode alterar de forma contínua e permanente a qualidade dos mananciais (ROCHA *et al.*, 2004; VON SPERLING, 2005; CUNHA *et al.*, 2011).

Outro grande problema está no lançamento indevido de esgotos na rede de coleta de águas pluviais, isso ocorre em função da existência de ligações clandestinas de esgoto no sistema pluvial. Neste caso, a coleta que deveria ser separada: esgoto e água pluvial, passa a ser mista (CUNHA *et al.*, 2011). O descarte de esgotos domésticos diretamente no sistema de águas pluviais, compromete a qualidade dos corpos hídricos, tendo em vista que o esgoto chega aos rios contendo

elevados teores de matéria orgânica, coliformes termotolerantes e reduzida concentração de oxigênio dissolvido.

Os principais parâmetros que indicam a poluição por matéria orgânica e poluentes oriundos de despejos industriais são a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), ambos são indicadores do teor de matéria orgânica (DBO: biodegradável; DQO: oxidável) nos esgotos ou nos corpos hídricos, sendo, portanto, uma indicação do consumo de oxigênio dissolvido na água (VON SPERLING, 2005).

A seguir será discutida a situação de poluição em determinados corpos hídricos na região leste do estado do Paraná, bem como os principais poluentes e suas origens (efluentes domésticos e industriais).

2.2.1 Poluição em Curitiba e região

Como visto na TABELA 1, a bacia com maior demanda de água de abastecimento público no estado do Paraná é a região hidrográfica do Alto Iguaçu. Para suprir todas as demandas de água desta bacia, isto é, água para abastecimento público, industrial e agrícola, a região hidrográfica do Alto Iguaçu requer 16.550 L.s^{-1} , o que representa 32% da demanda por água no estado.

Para controle da qualidade da água dessa região, o Instituto Ambiental do Paraná (IAP) possui uma rede de monitoramento de qualidade da água composta por 72 estações de monitoramento distribuídas em 38 rios. O procedimento adotado é a AIQA - Avaliação Integrada da Qualidade da Água e tem como referência o método MPC - Programação por Compromissos da UNESCO. De acordo com o AIQA a classificação da qualidade da água varia de "muito boa" à "extremamente poluída". Com base nesta classificação, a qualidade do rio Iguaçu na extensão da Região Metropolitana de Curitiba (RMC), se apresenta como "muito poluída" (IAP, 2009).

Essa condição ruim do rio Iguaçu se deve, principalmente, a influência exercida pelos afluentes da sua margem direita, que drenam a cidade de Curitiba e contém elevados teores de matéria orgânica, coliformes termotolerantes e uma reduzida concentração de oxigênio dissolvido, predominantemente, em razão da

poluição decorrente de esgotos domésticos (IAP, 2009). Além de esgotos domésticos outra fonte de matéria orgânica para águas superficiais são os efluentes industriais (ROCHA *et al.*, 2004). Na região da bacia hidrográfica do Alto Iguaçu existem várias indústrias instaladas, o que promove maior volume de despejos dessa natureza.

Existem vários processos disponíveis para tratamento de efluentes, dependendo da natureza e da característica do efluente final. Como citado por Rocha *et al.* (2004), conhecer os diferentes tipos de poluentes, bem como sua origem, características e efeitos é fundamental para melhor definir a tecnologia de tratamento de efluentes mais apropriada.

No QUADRO 1 estão listadas as principais fontes gerais de poluentes e seus mais representativos efeitos sobre o ambiente.

POLUENTES	PRINCIPAIS PARÂMETROS	FONTE		POSSÍVEL EFEITO POLUIDOR
		EFLUENTES DOMÉSTICOS	EFLUENTES INDUSTRIAIS	
Sólidos em Suspensão (SS)	Sólidos em Suspensão Totais	+++	↔	- Depósitos de lodo - Adsorção de poluentes - Proteção de patógenos
Matéria Orgânica Biodegradável	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	+++	↔	- Consumo de oxigênio - Mortandade de peixes - Condições sépticas
Nutrientes	Nitrogênio Fósforo	+++	↔	- Crescimento excessivo e toxicidade de algas - Doença em recém-nascidos - Poluição da água subterrânea
Patógenos	Coliformes	+++	↔	- Doenças de veiculação hídrica
Matéria Orgânica não Biodegradável	Pesticidas Alguns detergentes e outros	-	↔	- Toxicidade (vários) - Espumas (detergentes) - Redução da transferência de oxigênio (detergentes) - Não biodegradabilidade - Maus odores (ex.: fenóis)
Metais pesados	Elementos específicos (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, entre outros)	-	↔	- Toxicidade - Inibição do tratamento biológico dos esgotos - Problemas da disposição do lodo na agricultura - Contaminação da água subterrânea
Sólidos inorgânicos dissolvidos	Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) Condutividade elétrica	-		- Salinidade excessiva - Toxicidade às plantas - Problemas de permeabilidade do solo (sódio)

QUADRO 1 - PRINCIPAIS FONTES DE POLUENTES EM EFLUENTES E SEUS EFEITOS SOBRE O AMBIENTE

NOTA: +: pouco; ++: médio; +++: muito; ↔ variável; -: usualmente não relevante.

FONTE: VON SPERLING (2005).

2.2.2 Tratamento de efluentes

Segundo von Sperling (2005), os estudos de concepção de sistemas de tratamento de efluentes domésticos devem incluir os seguintes fatores:

- Objetivos do tratamento, entendendo as características básicas do afluente de modo a reconhecer os poluentes a serem removidos;
- Impacto no corpo hídrico receptor causado pelo lançamento do efluente;
- Nível de tratamento (maior nível previsto);
- Eficiência do tratamento, compreendendo que os requisitos para o efluente ocorrem em função das condições exigíveis para o lançamento do efluente, da classe (enquadramento) e dos padrões de qualidade do corpo receptor, de acordo com a legislação.

Os esgotos domésticos possuem alta carga orgânica devido a sua origem. Os indicadores mais usados na verificação da qualidade desses efluentes são: DBO, DQO, OD (oxigênio dissolvido), SS, pH, coliformes e, em determinadas situações há o monitoramento de metais, cloretos, fluoretos, nutrientes, óleos e graxas, pesticidas, micropoluentes orgânicos, entre outros (SANTOS, 2002).

De acordo com von Sperling (2005), habitualmente, os níveis de tratamento de efluentes domésticos são classificados com o seguinte formato:

- **Tratamento preliminar**, ocorre a remoção de sólidos grosseiros (areia e materiais de maiores dimensões).
- **Tratamento primário**, ocorre a remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e DBO em suspensão (matéria orgânica componente dos sólidos em suspensão sedimentáveis).
- **Tratamento secundário**, promove a remoção de DBO em suspensão (finamente particulada), DBO solúvel (matéria orgânica na forma de sólidos dissolvidos), dependendo do processo adotado pode ocorrer a remoção de: nutrientes, como fósforo e nitrogênio e, organismos patógenos.
- **Tratamento terciário** (eventualmente), nutrientes, organismos patógenos, compostos não biodegradáveis, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos, sólidos em suspensão remanescente.

O tratamento preliminar deve ocorrer em todos os sistemas de tratamento de efluentes sanitários em etapa primária, secundária ou terciária. O tratamento secundário pode ou não vir imediatamente após o tratamento preliminar. O tratamento terciário é menos frequente em países em desenvolvimento (VON SPERLING, 2005).

As principais etapas de tratamento de efluentes domésticos compreendem os níveis preliminar, primário e secundário, sendo possível, a remoção de teores expressivos de matéria orgânica.

No QUADRO 2 estão sumarizadas as principais características dos níveis de tratamento usuais: preliminar, primário e secundário.

ITEM	NÍVEL DE TRATAMENTO*		
	PRELIMINAR**	PRIMÁRIO**	SECUNDÁRIO
Poluentes removidos	- Sólidos grosseiros	- Sólidos sedimentáveis - DBO em suspensão	- Sólidos não sedimentáveis - DBO em suspensão fina - DBO solúvel - Eventualmente nutrientes - Eventualmente patógenos
Eficiência de remoção	- DBO: 5 - 10% - SS: 5 - 20% - Bactérias: 10 - 20%	- SS: 60 - 70% - DBO: 25 - 35% - Coliformes: 30 - 40% - Bactérias: 25 - 75%	- SS: 65 - 95% - DBO: 60 - 98% - Coliformes: 60 - 99% - Bactérias: 70 - 99%
Mecanismo predominante de tratamento	Físico	Físico e químico	Biológico
Aplicação	- Recepção do efluente bruto - Etapa inicial dos processos de tratamento	- Tratamento parcial - Etapa intermediária de tratamento para remoção de matéria orgânica	- Tratamento para remoção de matéria orgânica

Nota: *Segundo CETESB (1988) apud TELLES et al. (2010) no tratamento terciário as eficiências de remoção são: DBO (40 - 99%), SS (80 - 99%), Nutrientes (até 99%), Bactérias (99,99%). **o autor também cita que nos níveis preliminar e primário não são removidos nutrientes que se encontram na forma dissolvida ou finamente particulada. Contudo, os nutrientes incorporados nas partículas de sólidos ou de lodo são removidos por sedimentação.

QUADRO 2 - CARACTERÍSTICAS DOS NÍVEIS TÍPICOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS

FONTE: CETESB (1988) apud TELLES et al. (2010); VON SPERLING (2005), modificado pela autora (2013)

2.2.2.1 Tratamento secundário

As principais técnicas de tratamento de efluentes utilizadas no Brasil para tratamento em nível secundário estão descritas a seguir (FLORENCIO *et al.*, 2006):

- Lagoas de estabilização;
- Disposição de efluentes no solo;
- Reatores anaeróbios;
- Reatores anaeróbios, seguido de pós tratamento.

Essas técnicas de tratamento têm por objetivo a redução de DBO, DQO, SS, N-NH₄, N_{total}, P_{total}, coliformes termotolerantes e ovos de helmintos (FLORENCIO *et al.*, 2006). Um dos fatores que reflete na adoção dessas alternativas de tratamento é o reduzido custo, quando comparado a outros sistemas.

Outra tecnologia de tratamento de efluentes em nível secundário que apresenta maior eficiência na remoção de matéria orgânica é o sistema de lodos ativados convencional e de lodos ativados com aeração prolongada.

Esses sistemas apresentam elevada remoção de matéria orgânica, porém essas técnicas apresentam baixa eficiência na remoção de patógenos, elevados custos de implantação e operação e alto consumo de energia (VON SPERLING, 2005; CHEMICARO, 2001).

Nos sistemas com lodos ativados e aeração prolongada há um gasto maior de energia, porém é um dos processos de tratamento de esgotos mais eficientes na remoção de DBO (VON SPERLING, 2005).

Chemicaro (2001), cita que em função da baixa remoção de patógenos no sistema de lodos ativados faz-se necessário a desinfecção.

O tratamento por lodos ativados é composto basicamente por tanque de aeração (reator) seguido de decantador, segregando efluente tratado e lodo remanescente que recircula para o reator.

O processo consiste na metabolização biológica da matéria orgânica de águas residuárias (efluente doméstico, por exemplo) no reator, mantido sob condições aeróbias, contendo uma fauna variada de microorganismos. O suprimento de oxigênio é feito através do ar atmosférico por meio de aeradores, por exemplo (CAVALCANTI, 2009).

Em sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio, o crescimento da biomassa é menor, por consequência, gera menos lodo (VON SPERLING, 2005; CHEMICARO, 2001), isso ocorre em função da remoção da matéria orgânica já na etapa anaeróbia.

Outras vantagens dessa combinação de tratamento são: redução do consumo de energia, redução no consumo de produtos químicos para desidratação do lodo, menor número de unidades a serem implantadas, menor necessidade de equipamentos e maior simplicidade operacional (VON SPERLING, 2005).

Dependendo do tipo de tecnologia de tratamento e configuração adotada, o nível secundário pode responder suficientemente pela qualidade requerida para lançamento do efluente tratado em certos corpos de água, ou mesmo para o reaproveitamento do efluente final.

Na TABELA 3 são mostrados os intervalos de qualidade da água, após tratamento, para vários parâmetros obtidos em formas de variações de tratamentos biológicos por lodos ativados.

TABELA 3 - QUALIDADE DA ÁGUA APÓS TRATAMENTO POR DIFERENTES MODALIDADES DE LODOS ATIVADOS

PARÂMETRO	UNIDADE	EFLUENTE BRUTO	EFLUENTE APÓS TRATAMENTO POR DIFERENTES MODALIDADES DE LODOS ATIVADOS*		
			LODOS ATIVADOS CONVENCIONAL (LAC)	LAC COM FILTRAÇÃO	LAC COM REMOÇÃO BIOLÓGICA DE NUTRIENTES
Sólidos em Suspensão	mg.L ⁻¹	120 - 400	5 - 25	2 - 8	5 - 20
Carbono orgânico total	mg.L ⁻¹	80 - 260	10 - 40	8 - 30	8 - 20
Nitrogênio	mg.L ⁻¹	20 - 70	15 - 35	15 - 35	3 - 8
Fósforo	mg.L ⁻¹	4 - 12	4 - 10	4 - 8	1 - 2
Turbidez	UNT	-	2 - 15	0,5 - 4	2 - 8
Compostos orgânicos voláteis	µg.L ⁻¹	<100 - >400	10 - 40	10 - 40	10 - 20
Coliformes totais	nº/100 mL	10 ⁶ - 10 ⁹	10 ⁴ - 10 ⁵	10 ³ - 10 ⁵	10 ⁴ - 10 ⁵
Cistos e oocistos de protozoários	nº/100 mL	10 - 10 ⁴	10 - 10 ²	0 - 10	0 - 10
Vírus	PFU/100 mL	10 - 10 ⁴	10 - 10 ³	10 - 10 ³	10 ¹ - 10 ³

NOTA: *nenhum dos tratamentos indicados incluem etapa de desinfecção.

FONTE: ASANO et al. (2007) apud NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (2012).

Na TABELA 3 observa-se que a qualidade do efluente final apresenta-se de forma bastante equilibrada entre as diferentes modalidades de tratamento por lodos ativados, sendo que eficiência varia nos parâmetros onde o tratamento tem objetivo, como é o caso de remoção de nutrientes e turbidez.

2.3 REÚSO DE ÁGUA

A racionalização do uso dos recursos hídricos advém da redução do consumo, reutilização e reciclagem da água. A diminuição do consumo relaciona-se ao uso eficiente da água, ou à simples economia, por meio da eliminação de vazamentos e perdas e da redução da quantidade do consumo em atividades domiciliares, industriais e agrícolas, entre outras tantas (SILVA, 2003).

A reutilização pode ser definida como o uso de água previamente utilizada para uma determinada função, mesmo que sua qualidade tenha sido alterada durante o primeiro uso; o reaproveitamento é feito antes que essa água seja despejada na rede de coleta de esgoto (LAVRADOR, 1987 *apud* SILVA, 2003; MANCUSO e SANTOS, 2003).

A reciclagem consiste no reaproveitamento das águas coletadas pela rede de esgoto encaminhada para uma estação de tratamento (SILVA, 2012). Em determinadas situações, a água para ser reaproveitada exige um grau elevado de qualidade. Este requisito pode encarecer o tratamento, levando a custos que não compensam o benefício gerado pelo reúso da água. A importância de se analisar individualmente as possibilidades de reúso de água decorre especialmente deste fator.

A Organização Mundial da Saúde (1973) esclarece que a água sempre foi usada e reutilizada pelo ser humano. O próprio ciclo hidrológico é uma forma de reúso natural da água e é através deste ciclo natural que a água se constitui como um recurso renovável (OMS, 1973; HESPANHOL, 2002).

Dentro deste contexto, a OMS (1973) classifica o reúso de água da seguinte forma:

- Reúso indireto (*indirect reuse*): ocorre quando água utilizada uma ou mais vezes para propósito doméstico ou industrial é despejada em corpo

de água superficial ou subterrânea e novamente utilizada de forma diluída.

- Reúso direto (*direct reuse*): uso planejado de efluente tratado para alguns propósitos benéficos como irrigação, recreação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável;
- Reciclagem interna (*in-plant water recycling*): reúso de água em plantas industriais, objetivando economia de água e controle da poluição.

É relevante salientar que o reúso de água, para qualquer fim, é função das suas qualidades físicas, químicas e microbiológicas. Para tanto, a água recuperada ou água de reúso deve satisfazer certas condições e requisitos de qualidade específicos para uma finalidade (ou um conjunto de finalidades). Nesse contexto torna-se fundamental conhecer minuciosamente as características físicas, químicas e biológicas da água residuária a que se pretende recuperar.

2.3.1 Formas potenciais de reúso

A qualidade da água requerida e o objeto específico do reúso definirão os níveis de tratamento adequados, além de critérios de segurança a serem seguidos e os custos vinculados, operação e manutenção associados. Fatores locais como aspectos políticos, esquemas institucionais, disponibilidade técnica e fatores econômicos, sociais e culturais, são essenciais para verificar as possibilidades e as formas potenciais de reúso (HESPANHOL, 2002).

A FIGURA 02 ilustra os tipos principais de usos potenciais de efluente doméstico tratado.

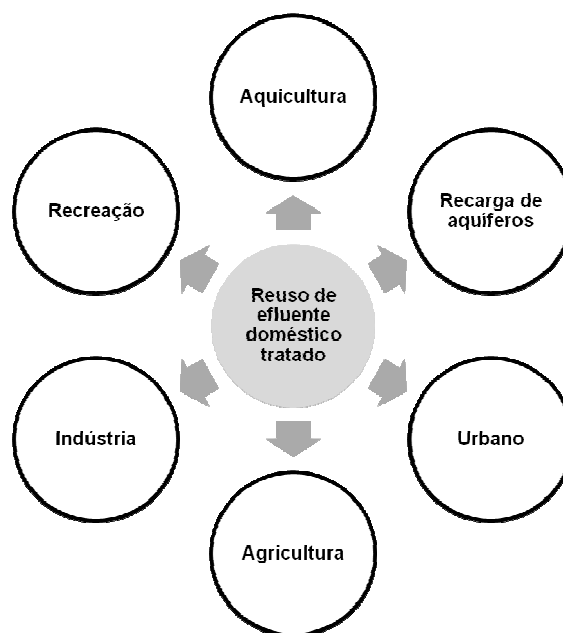


FIGURA 2 - FORMAS POTENCIAIS DE REÚSO DE EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO
 FONTE: HELMER e HESPANHOL (1997), modificado pela autora (2013)

Na FIGURA 2 é possível perceber a grande variabilidade de aproveitamentos possíveis para efluentes domésticos tratados. Analisando de forma individual as formas de reuso, as aplicações são várias, alguns exemplos são: recreação, podem ser utilizada para natação, pesca e sky aquático; agricultura, o efluente tratado pode ser aplicado na dessedentação de animais, pomares, vinhas, culturas ingeridas após processamento, culturas ingeridas cruas, forragens, fibras e culturas com sementes; industrial, pode ser utilizado em processos industriais e outras aplicações internas (HELMER e HESPANHOL, 1997).

Certamente que a utilização de efluente doméstico tratado está diretamente relacionada à finalidade proposta, bem como as características requeridas para cada propósito de reúso.

2.3.2 O reúso de água no mundo

Jiménez e Asano (2008) estimaram que aproximadamente 50 milhões de m³/dia de águas residuais são reutilizadas no mundo. Os autores também relatam que 21 milhões de m³/dia de esgotos municipais tratados são reutilizados em 43 países.

É difícil determinar quais são os principais países que fazem reuso de água através do reaproveitamento das efluentes tratados, por três razões (JIMÉNEZ e ASANO, 2008; LIBHABER, 2012):

- A reutilização é medida de forma diferente nos países (volume total reutilizado, reutilização per capita, por exemplo);
- Os valores totais do país pode ocultar a importância da reutilização a nível local;
- Não há dados exatos sobre os percentuais de distribuição de água entre as possíveis formas de reúso.

Alguns países estão à frente quando se fala em reúso, um exemplo que se destaca é Israel que reaproveita 80% de esgoto, sendo que 90% desse reúso de esgoto é destinado à irrigação agrícola. Nos Estados Unidos cerca de 50% de água de reúso é para a agricultura (LIBHABER, 2012). A reutilização de efluentes domésticos tratados na irrigação agrícola é predominante na maioria dos países.

Países como Israel, Austrália e Singapura, em função de suas diferenças em termos de clima, densidade populacional, disponibilidade de recursos hídricos e história, os levaram a diferentes resultados com relação ao reúso de água (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 2012).

Yi *et al.* (2011) comentam, em seu estudo sobre o reuso de água recuperada na China, que a escassez e a poluição hídrica enfrentadas pelo país, induziram a utilização de um recurso hídrico alternativo, além de reduzir as descargas de efluentes em corpos hídricos. O governo lançou esforços nacionais para otimizar os benefícios do reuso de água. Os autores também comentam que na posição de país que mais utiliza efluente de esgoto tratado no mundo, a experiência da China pode contribuir com o desenvolvimento de reúso de água em outras regiões.

Na TABELA 04 está descrita a classificação dos 15 países que mais utilizam água de reúso, indicada por JIMÉNEZ e ASANO (2008), com base em 03 critérios distintos.

TABELA 4 - CLASSIFICAÇÃO DOS PAÍSES COM MAIORES ÍNDICES DE REÚSO DE ÁGUA NO MUNDO

POSIÇÃO	PAÍS	REUSO (m ³ /dia)	PAÍS	REUSO (m ³ /dia <i>per capita</i>)	PAÍS	REUSO/ EXTRAÇÃO (%)
1	China	14.817.000	Catar	170.323	Kuwait	35,2

POSIÇÃO	PAÍS	REUSO (m ³ /dia)	PAÍS	REUSO (m ³ /dia <i>per capita</i>)	PAÍS	REUSO/ EXTRAÇÃO (%)
2	México	14.400.000	Israel	166.230	Israel	18,1
3	USA	7.600.000	Kuwait	163.330	Singapura	14,4
4	Egito	1.920.000	México	136.235	Catar	13,3
5	Arábia Saudita	1.847.000	Emirados Árabes	126.713	Chipre	10,4
6	Síria	1.014.000	Chipre	88.952	Jordânia	8,1
7	Israel	1.014.000	Arábia Saudita	75.081	Emirados Árabes	8,0
8	Chile	840.600	Bahrain	56.301	Malta	7,8
9	Espanha	821.920	Síria	55.109	Tunísia	7,1
10	Japão	573.800	Chile	52.211	México	6,7
11	Tunísia	512.328	Tunísia	51.233	Arábia Saudita	5,5
12	UAE	506.850	Jordânia	40.179	Namíbia	4,3
13	Peru	505.100	Malta	27.400	Bahrain	4,2
14	Austrália	456.100	Oman	27.385	Chile	2,4
15	Irã	455.700	Egito	26.301	Oman	1,9

FONTE: JIMÉNEZ e ASANO (2008), modificado pela autora (2013)

Conforme apresentado na TABELA 04, o volume (m³) de reúso pelos países varia de acordo com determinados fatores, como a geografia, dimensões territoriais do país, número de habitantes. Jiménez e Asano (2008) citam que a reutilização por habitantes é mais significativa em países como, Catar, Israel e Kuwait; enquanto que quando se considera a relação entre o reúso e o volume total de água utilizada os países que mais se destacam são: Kuwait, Israel e Singapura.

Dentro desta mesma classificação de países que mais reutilizam água no mundo, o Brasil não apresenta números satisfatórios em termos de reúso. A seguir a posição do Brasil no contexto mundial do reúso de água, com base em critérios de JIMÉNEZ e ASANO (2008):

- Volume de reúso diário: 23.330 m³/dia (40ª posição)
- Volume de reúso diário per capita: 127 m³/dia per capita (45ª posição)
- A relação entre o volume de reúso e o volume total de água utilizada: inferior 0,5% (43ª posição)

Como citado anteriormente, quando o assunto é reúso o Brasil ainda está em processo inicial de implantação. Um dos motivos está nas implicações legais relacionadas ao reúso, altos custos com tecnologias para tratamento, além da falta de incentivos do governo para tais iniciativas.

No QUADRO 3 são incluídas algumas práticas de reúso de água pelo mundo.

EXEMPLO DE CASO	APLICAÇÃO
EUA, Indústria de bebidas Pepsico	A água de processo é recuperada e reutilizada internamente, com isso 75% de água de processo é reutilizada, poupando 100 milhões L/ano (USEPA, 2012).
Israel, Região do Dan	Maior projeto de reúso de água do país, cerca de $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, servindo uma população de cerca de 2.5 milhões e gerando por volta de 7% da demanda de água do país. O sistema de distribuição inclui ainda alguns reservatórios superficiais. A vazão média anual do projeto é atualmente de 3,8 à 4,4 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. A capacidade de projeto da planta de tratamento é de $5.1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (LIBHABER, 2012).
Alemanha, Kaiserlautern	Uma lavanderia iniciou em 2004 o tratamento de águas residuárias para reúso na própria empresa. O sistema de tratamento adotado é por Biorreator com Membranas (MBR) associado à nanofiltração (NF). A concentração de DQO do afluente de entrada é $2.900 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, sendo possível a reciclagem de 70 % (MENZEL, 2012).
Alemanha, Eltmann	Indústria de reciclagem de papel recicla efluente tratado para uso nas máquinas de papel, utiliza a tecnologia de Nanofiltração, a área utilizada para a instalação das membranas foi de 15.000 m^2 , a recuperação do efluente tratado é de 90%, o início das operações se deu em dezembro de 1999 (UWE, 2012).
Estados Unidos, Denver	Construção de estação de tratamento de demonstração com capacidade de $44 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$. Esta estação foi planejada para utilizar o efluente de um sistema de esgotos domésticos, tratado em nível secundário como água bruta. Esse sistema de tratamento foi concebido tendo como objetivo o estudo da viabilidade técnica e econômica do reúso potável direto, empregando-se alta tecnologia para tornar a água potável. Além disso, o projeto foi idealizado para possibilitar o desenvolvimento de metodologias científicas de monitoramento de qualidade de água, baseada nos mais modernos indicadores (LEITE, 2003).
México	A Pemex, companhia estatal mexicana, realizou um projeto de reúso de efluentes em sua refinaria localizada em Minatitlán, a qual possui capacidade de processamento de 170.000 barris de petróleo/dia. A Atlatec S.A. foi a empresa escolhida para fornecer o sistema de tratamento para esta planta industrial. O principal objetivo foi alimentar torres de resfriamento. Para tanto foi adotada a tecnologia de filtração com membrana após tratamento biológico (neste caso, como tratamento secundário) (POMBO, 2011).
Brasil, Indústria de eletrodomésticos Continental	Adaptação do sistema de tratamento convencional, para reúso interno. O investimento para o tratamento foi de R\$ 4.300,00, resultando em redução de 30% no consumo de água e economia de R\$ 135 mil/ano (TELLES <i>et al.</i> , 2010).
Brasil, indústria química 3M	Reúso industrial em sistemas de refrigeração, limpeza de equipamentos, lavagem de piso. Investimento de US\$ 20 mil e um custo fixo de R\$ 5 mil/mês. Como resultado obteve-se redução do consumo do processo em $97,6 \text{ mil m}^3/\text{ano}$ (TELLES <i>et al.</i> , 2010).
Brasil, indústria de cosméticos Natura	Os efluentes tratados na ETE, são tratados com membranas de ultrafiltração e cloração, e ficam disponível para uso nos vasos sanitários, reserva para combate a incêndios e limpeza de pisos e rega dos jardins do Espaço Natura (NATURA, 2005).
Austrália, Sydney	Scheme no Olympic Park foi construído como parte dos Jogos Olímpicos em 2000. O sistema é projetado para tratar esgoto doméstico bruto. Os principais elementos são a água, recuperação da planta, uma planta de tratamento de água, coleta de águas pluviais, o armazenamento de água potável e sistemas de distribuição de água reciclada. Com esse tratamento

EXEMPLO DE CASO	APLICAÇÃO
	é possível fornecer água reciclada para a irrigação, fontes de água e usos domésticos. O esquema economiza mais que 800.000 m ³ . Em termos de saúde e segurança, a água reciclada é adequado para a descarga do banheiro, regar gramados e jardins, lavagem de carros, na construção e na indústria e no combate a incêndios (<i>NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES</i> , 2012).
Grécia, Chalkida	A estação de tratamento de águas residuais (ETAR) de Chalkida está em operação desde 1986. É composta por um tratamento que consiste em um sistema de lodos ativados, composto por 02 reatores. A capacidade projetada de tratamento terciário para a reutilização da água é de 4.000 m ³ /d, a corrente vazão é de 350 m ³ /d. A água recuperada é usado para irrigação irrestrita para melhorar a paisagem ao redor Chalkida em relação à flora e fauna (<i>KONING</i> , 2008).
Austrália, Litoral Sul da Nova South Wales	O sistema de tratamento foi desenvolvido para reutilizar cerca de 80% da água recuperada. É composto por lodos ativados, consiste na oxidação lagoas com aeradores superficiais, a remoção de fósforo não é um objetivo nobre causa da agricultura aplicação. Água recuperada é majoritariamente reutilizado para fins de irrigação no laticínio fazendas, campos de golfe e campos de recreação, a água também é usada para lavar quintal de laticínios (<i>KONING</i> , 2008).
Bélgica, Torreele	A ETAR Wulpen é um sistema de lodos ativados, que consiste em valas de oxidação precedidos por um pré desnitrificação, a remoção de fósforo é conseguida através da dosagem de sais férricos. Em 2003, a ETAR tem servido 108 mil equivalentes de população. A fim de reduzir a extração de água subterrânea natural para produção de água potável e segurar a solução salina intrusão na costa flamenga da Bélgica, 2.500.000 m ³ de efluentes da ETAR por ano é infiltrada nas dunas após o tratamento com micro filtração (MF), a osmose inversa (RO) e UV. Os padrões de qualidade da água potável são atendidas (<i>KONING</i> , 2008).
Cidade do México, Estados Unidos	Aproximadamente 90% das águas residuais da Cidade do México são reutilizadas na agricultura e 10% é reutilizada para irrigação cinturão verde (<i>NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES</i> , 2012).

QUADRO 3 - ALGUMAS PRÁTICAS DE REÚSO DE ÁGUA AO REDOR DO MUNDO

2.4 REÚSO INDUSTRIAL DE ÁGUA

O reúso de água na indústria, muitas vezes está associado a iniciativas isoladas, sendo a maioria no setor privado. Na planta industrial a água é aplicada para diversas finalidades, como matéria-prima, sistema de refrigeração, limpeza e lavagem de pátios e jardins, consumo humano e higiene pessoal, entre outras aplicações. O acelerado crescimento econômico associado à ausência de alternativas sustentáveis, bem como a exploração de recursos naturais fizeram com que este assunto adquirisse interesse público e, conseqüentemente, desencadeou iniciativas políticas e econômicas (*TELLES et al.*, 2010).

A implantação de um programa de reúso de água na indústria requer o conhecimento do processo produtivo, demandas internas e principais usos de água, tendo em vista a identificação de potenciais usos de água de reúso em processos industriais. No item a seguir (2.4.1) serão discutidos os principais usos de água em determinados segmentos industriais.

2.4.1 Usos de água na indústria

Desde a revolução industrial, a economia mundial cresce com uma dinâmica de exploração imediatista de recursos naturais, seja na indústria de construção civil, química, de alimentos, automotiva ou em outros segmentos. A maioria demandam grandes volumes de água. Alguns ramos de atividade, como por exemplo, medicamentos ou eletrônicos, requerem água de alta qualidade, e conseqüentemente, exigem investimentos e tecnologia para seu tratamento, e em determinadas situações a composição de tratamento adicional (além do tratamento empregado em águas de abastecimento público, conforme o caso) faz-se necessário para que os requisitos de qualidade sejam satisfatórios.

A TABELA 5 mostra a evolução do consumo de água, ao longo do tempo, em âmbito mundial, proposto por Padilla (2007).

TABELA 5 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA EM ÂMBITO MUNDIAL (km³/ano)

TIPOS DE USO	EVOLUÇÃO AO LONGO DO TEMPO						
	1900	1920	1940	1960	1980	2000	2020
DOMÉSTICO	-	-	-	30	250	500	850
INDUSTRIAL	30	45	100	350	750	1350	1900
AGRÍCOLA	500	705	1000	1580	2400	3600	4300
TOTAL	530	750	1100	1960	3400	5450	7500

Nota.: (-) sem dados

FONTE: PADILLA (2007)

Segundo Tsutiya (2006), o uso da água em uma planta industrial pode ser classificado em 5 categorias principais:

- Consumo humano (banheiros, banho e alimentação, incluindo lavagem de utensílios, por exemplo), sendo que o consumo humano depende essencialmente do número de empregados e do regime de trabalho;

- Consumo doméstico (água utilizada em limpeza geral e manutenção da água do estabelecimento, por exemplo);
- Água incorporada ao produto (produtos de higiene e alimentos, por exemplo);
- Água utilizada no processo de produção e utilidades (geração de vapor e sistemas de resfriamento);
- Água perdida ou para usos não rotineiros (é assim denominada a água para sistemas de proteção contra incêndios, lavagem de reservatórios, água perdida por vazamentos e para usos não identificados).

A demanda de água para os diversos ramos de atividade industrial é função de vários fatores, tais como: tipologia e porte da indústria, método e capacidade de produção, práticas operacionais e de conservação da água empregada, idade das instalações e equipamentos da linha de produção, disponibilidade de água, condições meteorológicas, cultura local, inovação tecnológica, investimentos em pesquisa, entre outros (MIERZWA, 2002; VON SPERLING, 2005; MIERZWA e HESPANHOL, 2005; HESPANHOL *et al.*, 2006).

A TABELA 6 mostra a demanda de água para diferentes processos produtivos.

TABELA 6 - CONSUMO MÉDIO DE ÁGUA EM DETERMINADOS SEGMENTOS INDUSTRIAIS

TIPO DE INDÚSTRIA	UNIDADE DE PRODUÇÃO	CONSUMO/PRODUÇÃO (m ³ /unid.)*
ALIMENTÍCIA		
Usinas de açúcar	kg	100
Destilarias de álcool	L	20 - 30
Cervejaria	L	15 - 25
Conservas	kg	10 - 50
Laticínios	kg	15 - 20
Padaria	1 ton pão	2 - 4
COURO E CURTUME		
Curtumes	kg	50 - 60
Sapato	1000 pares	5
PAPEL E POLPA		
Fabricação da polpa	1 ton produto	15 - 200
Embranquecimento da polpa	1 ton produto	80 - 200
Fabricação da papel	1 ton produto	30 - 250
Polpa e papel integrados	1 ton produto	200 - 250
INDÚSTRIAS QUÍMICAS		
Vidro	1 ton vidro	3 - 30
Sabão	1 ton sabão	25 - 200
Ácido, base e sal	1 ton cloro	50
Borracha	1 ton produto	100 - 150

TIPO DE INDÚSTRIA	UNIDADE DE PRODUÇÃO	CONSUMO/PRODUÇÃO (m ³ /unid.)*
Refinaria de Petróleo	1 barril (117 L)	0,2 - 0,4
Detergente	1 ton produto	13
Amônia	1 ton produto	100 - 130
Gasolina	1 ton produto	60 - 90
METALÚRGICAS		
Fundição	1 ton gusa	3 - 8
Laminação	1 ton produto	80 - 50
Forja	1 ton produto	80
Deposição eletrolítica de metais	1 m ³ de solução	1 - 25
Aciarias	kg	250 - 450
TÊXTEIS		
Algodão	1 ton produto	120 - 750
Lã	1 ton produto	500 - 600
Poliéster	1 ton produto	60 - 130
Tinturaria	1 ton produto	20 - 60
INDÚSTRIAS EM GERAL		
Geral (uso sanitário)	1 empregado	30 - 95 L/d
Prédio industrial (uso doméstico)	1 empregado	57 - 130 L/d

Nota: * consumo em m³ por unidade produzida ou L/d por empregado.

FONTE: CETESB (1976), DOWNING (1978), ARCEIVALA (1981), HOSANG E BISCHOF (1984), IMHOFF (1985), MELTCALF e EDDY (1981), DERÍSIO (1992), MATOS (2002), TSUTIYA (2004) citados por VON SPERLING (2005); MELTCALF e EDDY (2002) *apud* TSUTIYA (2006); TOMAZ (2000) *apud* TELLES *et al.* (2010), modificada pela autora (2013)

Telles e colaboradores (2010) ressaltam, entretanto, que o consumo médio de água na indústria (TABELA 6) pode sofrer alterações com o desenvolvimento e avanço tecnológico, obtendo-se reduções ou mesmo o aumento das taxas de consumo unitário de água. Meltcalf e Eddy (2002), citados por Tsutiya (2006), relatam que o uso doméstico e uso sanitário em prédio industrial pode variar de 30 à 130 L/d.empregado.

2.4.2 Formas de reúso de água na indústria

Hespanhol *et al.* (2006) destacam que a identificação de oportunidades de reúso de água na indústria muitas vezes é limitada pela pouca informação disponível sobre os níveis de tolerância de qualidade de água para uma determinada operação. Assim, torna-se imperativo um estudo minucioso do processo industrial para caracterização da qualidade de água de processo.

De acordo com Mierzwa (2005) e Hespanhol *et al.* (2006), no emprego do reúso de água na indústria podem ser consideradas duas alternativas básicas, a saber:

- Reúso macro externo: uso de efluentes tratados provenientes de estações administradas por concessionárias de saneamento ou por outras indústrias;
- Reúso macro interno: uso interno de efluentes, tratados ou não, oriundos de atividades desenvolvidas na própria indústria.

O reúso macro interno conforme definido por Hespanhol *et al.* (2006) é semelhante ao conceito de reciclagem interna (*in-plant water recycling*) proposto pela Organização Mundial da Saúde (1973), apresentado anteriormente

Como visto, o reúso macro externo é definido como o reúso de efluentes provenientes de estações de tratamento administradas por concessionárias de saneamento ou de outras indústrias.

Na FIGURA 3 é esquematizado o reúso industrial macro externo.

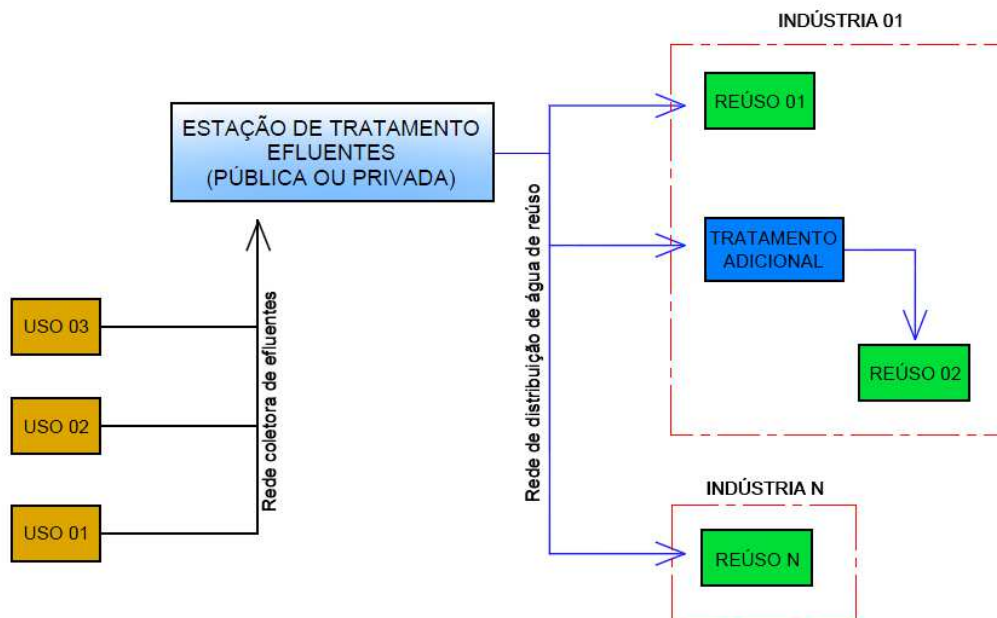


FIGURA 3 - REÚSO INDUSTRIAL MACRO EXTERNO
FONTE: RODRIGUES (2005).

Em alguns casos, o empreendimento industrial que venha a receber água de reúso (água recuperada) pela concessionária de saneamento deverá ainda contar com um sistema de tratamento adicional, necessário para atender à padrões de

qualidade mais específicos, de acordo com as peculiaridades de um determinado processo industrial.

A implantação de estações de tratamento de esgotos nas proximidades dos pólos industriais, seja ela programada ou não, e o incentivo à construção de indústrias próximas às estações de tratamento existentes, são muito importantes para viabilizar a implementação de projetos de reúso de efluente tratado nas plantas fabris, pois desta forma reduz-se custos com a construção de adutoras e redes para transportar a água de reúso até a indústria consumidora (MANCUSO e SANTOS, 2003).

Tomaz (2010) comenta que no Japão os estudos concluíram que para áreas construídas maiores que 30.000 m² ou consumo maior que 100 m³/dia de água não potável, o reúso é a melhor opção e é mais vantajoso quando comparado à utilização de água de abastecimento público. Importante ressaltar que a qualidade do efluente e a necessidade de tratamento adicional refletem em custos e investimentos, que podem ser elevados dependendo das características do efluente a ser recuperado para o reuso.

Tradicionalmente, indústrias têxteis, de papel e celulose, e outras instalações que fazem uso de água de reúso em sistemas de resfriamento têm sido os principais usuários industriais de água recuperada (USEPA, 2012). Segundo Mancuso e Santos (2003), a maior parte da demanda hídrica na indústria está relacionada à reposição de água em torres de resfriamento. Crook (1993) por sua vez, afirma que o processo de maior potencial de reúso dentro de uma planta industrial é a refrigeração, representando em média 75% da quantidade reutilizada industrialmente.

Sistemas de reúso de efluente tratado podem ser viáveis caso exista uma concentração razoável de indústrias que se associem a um programa de reúso em um raio de aproximadamente 5 km no entorno da estação de tratamento e recuperação de água para reúso (MANCUSO e SANTOS, 2003).

Pombo (2011) relata que várias refinarias de petróleo ao redor do mundo utilizam efluente doméstico tratado como fonte de água de reúso, principalmente para alimentação de torre de resfriamento. Em geral, as refinarias de petróleo requerem a redução de fosfato, amônia e sólidos em suspensão para uso como água de resfriamento.

Na FIGURA 04 estão descritas formas de reuso na indústria:

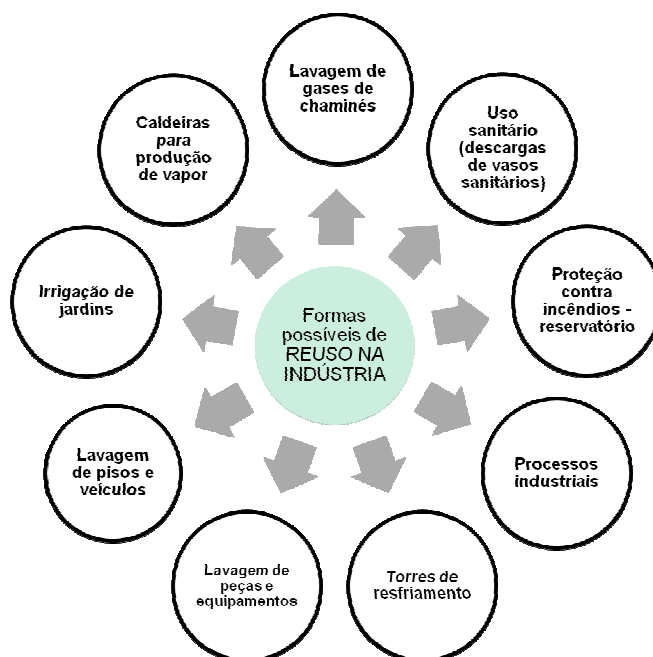


FIGURA 4 - FORMAS POTENCIAIS DE REUSO EM INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS

FONTE: Hespanhol (2002), Mancuso e Santos (2003), Oliveira (2003), Asano (2007), Cunha (2011), modificado pela autora (2013)

A água de reúso pode ser utilizada em outras atividades desde que suas características atendam os requisitos de qualidade eventualmente exigidos (MIERZWA, 2005).

Casani *et al.* (2005) na pesquisa sobre os desafios e limitações para a reutilização da água e higiene na indústria de alimentos por meio de reuso de água, comentam que a indústria de alimentos tem um grande consumo de água, contudo a reutilização de água ainda é limitada. Isto ocorre devido a legislações restritivas, peculiaridades sanitárias e preocupações de higiene.

Mancuso e Santos (2003) relatam que os segmentos industriais sujeitos ao aproveitamento de águas de reúso são os seguintes: manufatura de papel e celulose, têxtil, material plástico e produtos químicos, petroquímicos, couro e curtumes e construção civil. Nesses casos o reúso necessita de sistemas de tratamento avançados e demandam, conseqüentemente, elevados investimentos.

De acordo com a USEPA (2012), industriais que buscam a certificação LEED reconhecem que a água de reúso é um recurso que pode substituir a água potável mais onerosa, sem prejuízos ao desempenho de seus processos.

Um dos fatores críticos a ser levado em consideração na avaliação do potencial de reúso de efluentes tratados é a concentração de poluentes que não

podem ser removidos por técnicas de tratamento usualmente adotadas. Muitas das técnicas utilizadas em tratamento de efluentes são pouco eficazes na remoção de substâncias inorgânicas solúveis (HESPANHOL *et al.*, 2006).

Em algumas situações, para possibilitar o reúso de um determinado efluente, é realizado um tratamento preliminar adicional, para permitir que a concentração de um poluente específico seja compatível com o processo que o utiliza. Através desse tratamento adicional, é possível obter um efluente tratado com características de qualidade correspondentes à água que alimenta a uma unidade industrial (HESPANHOL *et al.*, 2006).

Mancuso e Manfredini (2005) comentam em seu artigo sobre reúso de água em sistema de resfriamento, que o tratamento físico-químico baseado nos processos de coagulação, floculação e sedimentação apresentaram resultados satisfatórios para a redução dos parâmetros de condutividade, dureza total, sílica, entre outros, adequando os efluentes sanitários secundários ao reúso em torres de resfriamento; a remoção de compostos de fósforo e nitrogênio pode ser realizada através de processos físico-químicos e biológicos combinados, apresentando uma eficiência entre 52% e 68%.

A implantação de um sistema de reúso deve contemplar diversas etapas a fim de que haja reciprocidade entre os benefícios ambientais e econômicos. Desta forma, o controle ambiental na indústria poderá deixar de representar um ônus expressivo para transformar-se em aplicação lucrativa de recursos (CUNHA *et al.*, 2011).

Hespanhol *et al.* (2004) descreve as etapas de conservação e reúso de água e prescreve orientações claras e objetivas na direção da implantação de um Programa de Conservação e Reúso de Água (PCRA). Esse programa requer o conhecimento pleno do uso da água (quantitativo e qualitativo) em todas as edificações, áreas externas e processos, visando identificar os maiores consumidores e as melhores ações de caráter tecnológico a serem adotadas, bem como os mecanismos de controle que devem ser incorporados.

Após a avaliação e implantação das ações que compõem o PCRA, deve ser implementado um sistema de gestão permanente, para assegurar a manutenção de índices de consumo e da qualidade da água fornecida (HESPANHOL *et al.*, 2004).

De uma maneira simplificada um PCRA abrange as etapas relacionadas no QUADRO 4.

ETAPAS	PRINCIPAIS ATIVIDADES	PRODUTOS
Avaliação técnica preliminar	Avaliação documental	Plano de setorização do consumo de água.
	Levantamento de campo	
Avaliação da demanda de água	Análise de perdas físicas e desperdícios	Plano de adequação de equipamentos hidráulicos; Plano de adequação de processos; Plano de otimização dos sistemas hidráulicos.
	Identificação dos diferentes níveis de qualidade da água	
Avaliação da oferta de água	Concessionárias	Plano de monitoramento de fontes alternativas de água
	Captação direta	
	Águas pluviais	
	Reúso de efluentes	
	Águas subterrâneas	
Estudo de viabilidade técnica e econômica	Montagem da matriz e soluções	Cenário ótimo.
	Análise técnica e econômica	
Detalhamento técnico	Especificações técnicas	Projeto executivo.
Sistema de gestão	Plano de monitoramento do consumo de água e de capacitação de gestores e usuários	Sistema de gestão da água.
	Rotinas de manutenção, procedimentos específicos	

QUADRO 4 - ETAPAS DO PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO E REÚSO DE ÁGUA, PROPOSTO POR HESPANHOL E COLABORADORES
FONTE: HESPANHOL *et al.* (2004).

Relacionam-se na FIGURA 5 os principais impactos ambientais, econômicos e sociais da implantação de sistemas de reúso de água em indústrias.

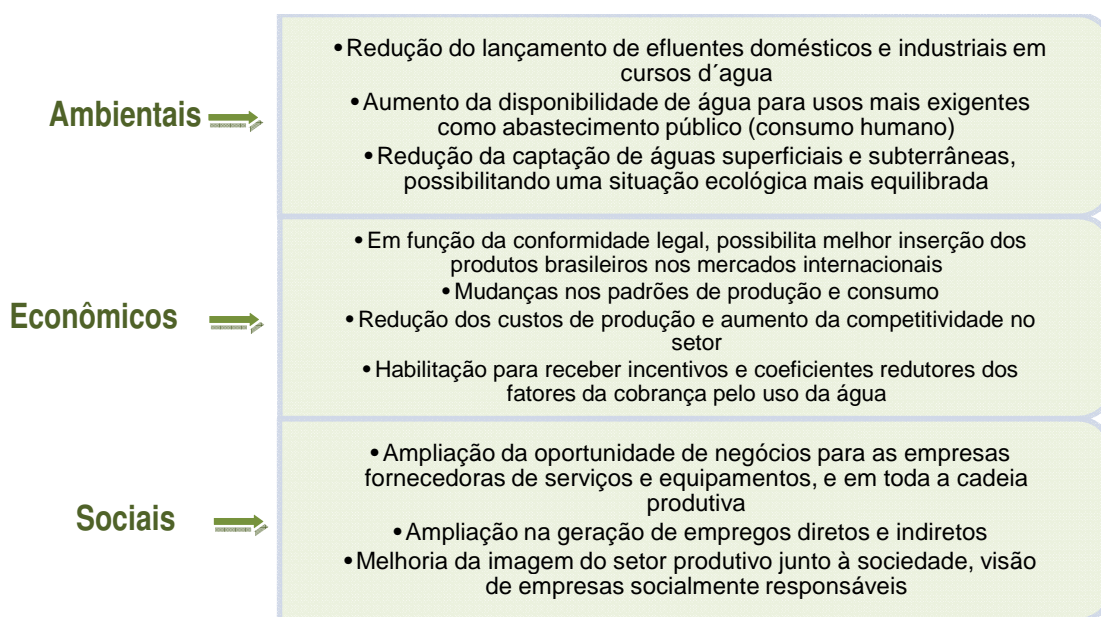


FIGURA 5 - PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS, ECONÔMICOS E SOCIAIS
FONTE: HESPANHOL *et al.* (2004), modificado pela autora (2013)

Observa-se o "tripé" da sustentabilidade (ambiental, social e econômico), o qual é fortemente influenciado pela implantação de um programa de conservação de reúso de água. Desta forma, apresenta-se mais fortemente a importância de investimentos em programas de preservação e recuperação de recursos ambientais.

2.4.3 Requisitos de qualidade de água

A presença de substâncias estranhas ao processo produtivo podem acarretar sérias consequências, motivo pelo qual se mostra prudente a designação de tratamento adequado para atender os requisitos de qualidade de água que cada processo exige.

No QUADRO 5 são elencadas algumas qualidades da água postuladas para usos característicos da indústria.

USO GERAL	USO ESPECÍFICO	QUALIDADE REQUERIDA
Abastecimento Industrial	Água incorporada ao produto (alimento, bebidas, remédios, p. ex.)	- Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde - Isenta de organismos prejudiciais à saúde - Esteticamente agradável (baixa turbidez, cor, sabor e odor)
	Água que entra em contato com o produto final	- Variável com o produto
	Água que não entra em contato com o produto (refrigeração, caldeiras, p. ex.)	- Baixa dureza - Baixa agressividade

QUADRO 5 - REQUISITOS DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO INDUSTRIAL
FONTE: VON SPERLING (2005).

No QUADRO 6 estão indicados os problemas mais comuns com abastecimento industrial influenciados pela qualidade da água.

IMPUREZA	PROBLEMAS EM ÁGUAS DE PROCESSO	
	TIPO DE INDÚSTRIA	IMPACTO
Dureza (Ca e Mg)	Todas	Incrustação e depósitos
	Papel e têxtil	Depósito sobre as fibras
	Lavanderias	Formação de espuma sobre os tecidos
Alcalinidade	Papel, têxtil e bebidas	Destroi reagentes ácidos, corantes, floculantes e aromatizantes
Sólidos	Eletrônica, farmacêutica,	Aumenta o custo de produção de água com alto

IMPUREZA	PROBLEMAS EM ÁGUAS DE PROCESSO	
	TIPO DE INDÚSTRIA	IMPACTO
Dissolvidos	alimentícia, bebidas, utilidades	grau de pureza e pode degradar a qualidade do produto final
Sólidos Suspensos	Todas	Depósito e desgaste de equipamentos
Oxigênio Dissolvido	Todas	Principal causa de corrosão
Dióxido de Carbono	Todas*	Pode passar para fase vapor, na sucção da bomba do poço de extração, elevando o pH da água causando problemas de incrustação
Ferro e Manganês	Todas	Depósitos e manchas
Matéria Orgânica	Alimentos e bebidas	Sabor e odor
	Todas	Alimento para bactérias e contamina as resinas de troca iônica
Microorganismos	Todas	Produção de limo e odores

NOTA: *abastecimento de água por poço profundo.

QUADRO 6 - PROBLEMAS CAUSADOS NOS PROCESSOS INDUSTRIAIS DEVIDO ÀS IMPUREZAS DA ÁGUA

FONTE: MIERZWA e HESPANHOL (2005), modificado pela autora (2013)

No QUADRO 7 estão sumarizados os principais problemas causados por impurezas encontradas na água em caldeiras e nos sistemas de resfriamento.

IMPUREZA	ÁGUA PARA CALDEIRA	ÁGUA DE RESFRIAMENTO
Dureza (Ca e Mg)	Depósitos no sistema de condensação de vapor	Depósitos
Alcalinidade	Corrosão	Depósitos
Sólidos dissolvidos	Purgas elevadas	Corrosão e purgas elevadas
Sólidos suspensos	Depósitos	Corrosão e depósitos
Oxigênio dissolvido	Corrosão	Corrosão
Dióxido de carbono	Corrosão	Afeta o pH
Ferro e Manganês	Depósitos	Depósitos
Matéria orgânica	formação de espumas e crescimento biológico	formação de espumas e crescimento biológico
Sílica	Depósitos e pode causar problemas na turbina	Depósitos
Microorganismos	-	Depósitos

QUADRO 7 - PROBLEMAS CAUSADOS EM SISTEMAS DE RESFRIAMENTO E DE PRODUÇÃO DE VAPOR

FONTE: MIERZWA & HESPANHOL (2005), modificado pela autora (2013)

2.4.4 Requisitos de qualidade para reúso industrial

O desenvolvimento do reúso industrial de água proveniente do tratamento de efluentes domésticos muitas vezes se esbarra na quantidade de informação disponível sobre os níveis de tolerância de qualidade de água para um determinado uso industrial ou operação unitária.

São escassas as diretrizes técnicas para reúso de água na indústria assim como, os requisitos de qualidade de água por atividade industrial. Muitas vezes, a tônica no estabelecimento da qualidade da água para um dado processo produtivo é função do risco de exposição humana em detrimento da tolerância em termos de qualidade da água na atividade industrial propriamente dita.

Quando se fala em reuso de água na indústria, CAVALCANTI (2009) salienta que o padrão do efluente a ser tratado é estabelecido em função de exigências dos próprios usuários quanto às necessidades requeridas pelos processos produtivos, ou de outras destinações mais ou menos nobres que se pretenda dar ao efluente tratado (processos produtivos, lavagem de equipamentos, lavagem de pátios, torres de resfriamento, geração de vapor em caldeiras, usos sanitários, irrigação, entre outros).

Cavalcanti (2009) ainda cita que qualquer sistema de tratamento visando o reuso deve ser projetado de forma a atender os requisitos de qualidade exigidos, e a viabilidade do reuso deve ser analisada com base em critérios técnicos e econômicos.

Koning *et al.* (2008) citam que os requisitos de qualidade para a reutilização da água dependem diretamente da sua aplicação. Os diferentes tipos de reaproveitamentos exigem diferentes níveis de qualidade que podem ser alcançados com o emprego de diferentes tecnologias de tratamento.

Na FIGURA 6 observam-se os diferentes níveis de tratamento relacionados com a finalidade de reúso.

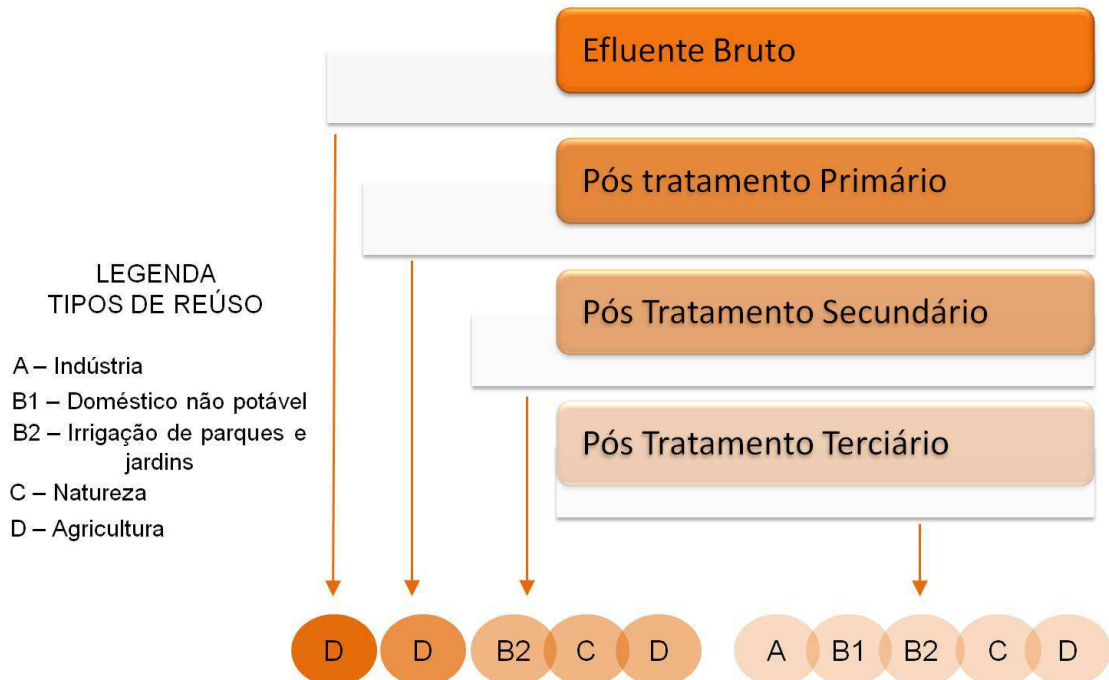


FIGURA 6 - TIPOS DE REÚSO E SEUS RESPECTIVOS NÍVEIS DE TRATAMENTO
FONTE: KONING *et al.* (2008).

Crook (1993) destaca que grande parte dos usos industriais traz requisitos de qualidade que estão relacionados com a saúde da população. Os aspectos físicos, químicos e microbiológicos podem limitar a aceitabilidade da água para reúso. A maioria dos critérios de qualidade da água é voltada principalmente para a proteção da saúde da população e muitos são norteados apenas por preocupações com a segurança microbiológica.

No Brasil, a norma técnica brasileira NBR 13.969 de 1997 foi o primeiro regulamento que discutiu o reúso de água no Brasil, sendo tratado como uma opção à destinação de esgotos de origem doméstica ou com características similares. Nesta norma foram definidas quatro classes de água de reúso acompanhadas de seus respectivos padrões de qualidade, sendo estes apresentados na TABELA 7 (HESPANHOL *et al.*, 2006).

A norma também trata do planejamento do sistema de reúso, salientando que o reúso local de esgoto deve ser planejado de modo a permitir seu uso seguro e

racional para minimizar o custo de implantação e de operação, definindo os seguintes itens:

- Usos previstos para o esgoto tratado;
- Volume de esgoto a ser utilizado;
- Grau de tratamento necessário;
- Sistema de reservação e de distribuição; e,
- Manual de operação e treinamento dos responsáveis.

TABELA 7 - CLASSES DE ÁGUA DE REÚSO DEFINIDOS PELA NBR 13.969 E PADRÕES DE QUALIDADE

CLASSE	APLICAÇÕES	PADRÕES DE QUALIDADE
Classe 1	Lavagem de carros e outros usos com contato direto com o usuário	Turbidez < 5 uT Coliformes Termotolerantes < 200 NMP/100ml Sólidos dissolvidos totais < 200 mg.L ⁻¹ pH entre 6 e 8 Cloro residual entre 0,5 mg.L ⁻¹ e 1,5 mg.L ⁻¹
Classe 2	Lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais paisagísticos, exceto chafarizes	Turbidez < 5 uT Coliformes Termotolerantes < 500 NMP/100ml Cloro residual > 0,5 mg.L ⁻¹
Classe 3	Descarga em vasos sanitários	Turbidez < 10 uT Coliformes Termotolerantes < 500 NMP/100ml
Classe 4	Irrigação de pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual	Coliformes Termotolerantes < 500 NMP/100ml Oxigênio dissolvido > 2,0 mg.L ⁻¹

FONTE: ABNT (1987).

Mierzwa (2002) relata que o procedimento usualmente adotado no setor produtivo consiste na captação e tratamento da água disponível, de forma a adequar as suas características originais aos padrões de qualidade requeridos para o atendimento das maiores demandas na indústria.

Muitas indústrias com o objetivo de economizar recursos e proteger equipamentos, estão procurando operar sistemas de resfriamento com água que cumpra com, no mínimo, um grau de qualidade da Categoria III (MIERZWA, 2002), isto é, água tratada.

Os limites de qualidade podem ser observados na TABELA 8, que apresenta as categorias de água em função do seu grau de qualidade.

TABELA 8 - CATEGORIAS DE ÁGUA EM FUNÇÃO DO SEU GRAU DE QUALIDADE

GRAU DE QUALIDADE	SDT (mg.L ⁻¹)	DQO (mg.L ⁻¹)	SST (mg.L ⁻¹)	DUREZA (mg.L ⁻¹)
Tipo I: Água ultra pura	< 10	< 1	0	0
Tipo II: Água de processo de alta qualidade	10 - 60	0 - 10	0	< 30
Tipo III: Água tratada	20 - 60	0 - 10	0 - 10	30 - 75
Tipo VI: Água bruta ou reciclada	60 - 800	10 - 150	10 - 100	-

FONTE: MIERZWA (2002).

O estabelecimento do tratamento para a obtenção de água recuperada com padrão de qualidade requerido para cada processo depende das substâncias e impurezas que se deseja remover da água sendo que, em geral, quanto maior o grau de purificação almejado de maior complexidade será a tecnologia de tratamento (MIERZWA, 2002; MANCUSO e SANTOS, 2003).

A adequação de água de reúso para uso industrial depende da especificidade do processo. Cada tipologia industrial tem sua particularidade, um exemplo é a indústria eletrônica que requer água destilada qualidade para a lavagem de placas de circuito e outros componentes eletrônicos (USEPA, 1992).

Para determinar a possibilidade de utilização de água de reúso na indústria, os potenciais usuários devem definir os requisitos de qualidade específicos para o processo em que será empregada água de reuso (USEPA, 1992; SENEVIRATNE, 2007).

A TABELA 9 apresenta os requisitos de qualidade da água para determinados processos industriais.

TABELA 9 - REQUISITOS DE QUALIDADE PARA ÁGUA DE ALGUNS SEGMENTOS INDUSTRIAIS

PARÂMETRO (mg.L ⁻¹)*	TIPO DE INDÚSTRIA						
	PAPEL E CELULOSE			QUÍMICA	CARVÃO E PETRÓLEO	TÊXTIL	CIMENTO
	POLPA MECÂNICA	POLPA QUÍMICA PARDA	POLPA QUÍMICA BRANQUEADA				
Cobre	-	-	-	-	0,05	0,01	-
Ferro	0,3	1,0	0,1	0,1	1,0	0,01	2,5
Manganês	0,1	0,5	0,05	0,1	-	0,01	0,5
Cálcio	-	20	20	68	75	-	-
Magnésio	-	12	12	19	30	-	-
Cloreto	1000	200	200	500	300	-	250
Bicarbonato	-	-	-	128	-	-	-

PARÂMETRO (mg.L ⁻¹)*	TIPO DE INDÚSTRIA						
	PAPEL E CELULOSE			QUÍMICA	CARVÃO E PETRÓLEO	TÊXTIL	CIMENTO
	POLPA MECÂNICA	POLPA QUÍMICA PARDA	POLPA QUÍMICA BRANQUEADA				
Nitrato	-	-	-	5	-	-	-
Sulfato	-	-	-	100	-	-	250
Sílica	-	50	50	50	-	-	-
Dureza	-	100	100	250	350	25	35
Alcalinidade	-	-	-	125	-	-	400
Sólidos Dissolvidos	-	-	-	1000	1000	100	600
Sólidos Totais	-	-	-	-	-	-	-
Suspensos	-	10	10	5	10	5	500
Totais	-	-	-	-	-	-	-
pH	6 - 10	6 - 10	6 - 10	6,2 - 8,3	-	5	6,5 - 8,5

NOTA: *unidades expressas em mg.L⁻¹, com exceção de pH.

FONTE: USEPA (1989) *apud* USEPA (1992); SENEVIRATNE (2007).

Segundo a USEPA (2012), nos EUA os objetivos de regulamentos variam muito de estado para estado. Os requisitos de qualidade de águas de reúso e tipos de tratamento variam com base no uso final da água recuperada e no potencial de exposição. O Estado da Califórnia, por exemplo, apresenta diferentes requisitos para a utilização de água de reúso em sistemas de resfriamento. Na Carolina do Norte, não é compulsório que a água de reúso produzida por instalações industriais satisfaça os critérios de reutilização, porém a água recuperada deve ser utilizada em um processo confinado e que não tenha acesso público.

Estados americanos como Arizona, Califórnia, Colorado, Florida, Georgia, Havaí, Massachusetts, Nevada, Nova Jersey, Novo México, Carolina do Norte, Ohio, Oregon, Pensilvânia, Rhode Island, Texas, Utah, Virgínia, Washington e Wyoming têm desenvolvido regulamentos abrangentes ou diretrizes que especificam requisitos de qualidade da água, processos de tratamento ou ambos (USEPA, 2012).

Crook (1993) relata que o tratamento secundário torna-se indispensável para o reúso industrial em sistemas de resfriamento, sendo desejável o tratamento terciário, incluindo filtração e um alto nível de desinfecção.

Em muitos casos, a indústria faz tratamento adicional para os sistemas de recirculação da água de refrigeração, incluindo clarificação com cal ou precipitação com sulfato de alumínio para remoção de nutrientes. Para a remoção de dureza utiliza-se a troca iônica. Para o controle de pH e da alcalinidade pode ser empregado o ácido sulfúrico e para o controle da corrosão, os polifosfatados. Para o controle biológico o cloro é frequentemente usado, enquanto na dispersão das espumas

causadas pelos fosfatos e por alguns compostos orgânicos são utilizados agentes antiespumantes (CROOK, 1993).

As alterações observadas na água utilizada para sistemas de refrigeração, como corrosão, crescimento biológico, incrustação, depósitos metálicos, crostas, *fouling* e formação de espuma (CROOK, 1993; MANCUSO, 2001; MIERZWA, 2002), são problemas que podem ocorrer tanto em água potável, quanto na água recuperada, mas as concentrações de contaminantes em água recuperada pode ser maior, devido a sua procedência (USEPA, 1996).

A TABELA 10 lista os critérios de qualidade da água para sistemas de resfriamento, em circuito aberto e circuito fechado, considerando as principais referências disponíveis sobre o assunto.

TABELA 10 - REQUISITOS DE QUALIDADE DE ÁGUA UTILIZADA EM SISTEMAS DE RESFRIAMENTO, COM E SEM RECIRCULAÇÃO

PARÂMETRO	REQUISITOS DE USO INDUSTRIAL - SISTEMAS DE RESFRIAMENTO				
	WATER PROLUTION CONTROL FEDERATION (1989)	MANCUSO (2000)	METCALF e EDDY (2003)		USEPA (2004) e USEPA (2012) ⁽²⁾⁽³⁾
	MAKE UP CIRCUITOS SEMI ABERTOS, COM RECIRCULAÇÃO	MAKE UP DO PÓLO PETROQUÍMICO DE MAUÁ	SEM RECIRCULAÇÃO	COM RECIRCULAÇÃO	AMBOS OS SISTEMAS
Cloretos	500	70	50	500	-
Sólidos Dissolvidos	500	200	1000	500	-
Sólidos Suspensos	100	2	5000	100	< 30
Dureza	650	70	850	250	-
Alcalinidade	350	50	500	350	-
pH	6,9 - 9,0 ⁽¹⁾	6,5 - 7,5	5,0 - 8,3	*	6,0 - 9,0
DQO	75	2	75	75	-
DBO	25 ⁽¹⁾	-	-	-	< 30
Turbidez	50 ⁽¹⁾	1	-	-	-
Cloro residual	-	0,5 - 1	-	-	1,0
Detergentes	-	< 1,0	-	-	-
Compostos orgânicos	1,0	-	-	-	-
Amônia	-	1,0	*	*	-
Nitrogênio amoniaco	1,0 ⁽¹⁾	1,0	-	-	-
Fosfato	4,0 ⁽¹⁾	1,0	-	-	-
Sílica	50	10	50	50	-
Alumínio	0,1	0,3	*	0,1	-
Ferro	0,5	0,3	*	0,5	-
Manganês	0,5	0,1	*	0,5	-
Cálcio	50	-	200	50	-

PARÂMETRO	REQUISITOS DE USO INDUSTRIAL - SISTEMAS DE RESFRIAMENTO				
	WATER PROLUTION CONTROL FEDERATION (1989)	MANCUSO (2000)	METCALF e EDDY (2003)		USEPA (2004) e USEPA (2012) ⁽²⁾⁽³⁾
	MAKE UP CIRCUITOS SEMI ABERTOS, COM RECIRCULAÇÃO	MAKE UP DO PÓLO PETROQUÍMICO DE MAUÁ	SEM RECIRCULAÇÃO	COM RECIRCULAÇÃO	AMBOS OS SISTEMAS
Magnésio	0,5	-	*	*	-
Bicarbonato	24	-	600	24	-
Sulfato	200	50	680	200	-
Enxofre	-	0	-	-	-
Cobre	-	-	*	*	-
Zinco	-	0,1	*	*	-

NOTA: unidades expressas em mg.L^{-1} , com exceção de pH (adimensional) e turbidez (NTU).

* Aceito como recebido, não há relatos de problemas com as concentrações ou valores encontrados.

⁽¹⁾ Limites recomendados por GOLDSTEIN et al. (1979)

⁽²⁾ Limites recomendados para sistema com e sem recirculação.

⁽³⁾ Os requisitos de qualidade de água sugeridos pela USEPA são baseados na experiência prática de reúso dos EUA e são especificamente dirigidos a estados americanos que não desenvolveram os seus próprios regulamentos.

FONTE: WATER PROLUTION CONTROL FEDERATION (1989) *apud* USEPA (1992), MANCUSO (2000) e METCALF e EDDY (2003) *apud* OENNING (2006), USEPA (2004), USEPA (2012), modificado pela autora (2013)

De acordo com o *Guidelines for water reuse*, da *Environmental Protection Agency* a água para a utilização em caldeiras, geralmente, requer tratamento adicional, pois as características exigidas à água com o propósito de geração de vapor são bastante restritivas, em geral, quanto maior a pressão, melhor a qualidade requerida para a água utilizada no processo. Muitas caldeiras de alta pressão requerem água de reposição de água de qualidade elevada (USEPA 1992; USEPA 2012).

A dureza da água é um parâmetro que sofre grande influência na geração de vapor, por exemplo tanto a água potável quanto a água de reúso devem ser tratadas antes de serem utilizadas no processo para reduzir a dureza da água de alimentação da caldeira para próximo de zero. Alta alcalinidade pode contribuir para a formação de espuma, resultando em depósitos. Alcalinidade de bicarbonato, sob a influência de calor da caldeira, pode levar à liberação de dióxido de carbono, o qual é uma fonte de corrosão em vapor utilizando equipamento (USEPA 1992; USEPA 2012).

Na TABELA 11 são descritos os intervalos de pressões e os requisitos de qualidade recomendados para a água utilizada na geração de vapor em caldeiras.

TABELA 11 - QUALIDADE RECOMENDADA PARA ÁGUA UTILIZADA EM CALDEIRAS

PARÂMETRO*	REQUISITOS DE QUALIDADE PARA GERAÇÃO DE VAPOR					
	SENEVIRATNE (2007)			USEPA (1980) e CROOK (1996)		
	PRESSÃO DE 0 - 21 bar	PRESSÃO DE 41 - 52 bar	PRESSÃO DE 69 - 103 bar	BAIXA PRESSÃO (<10 bar)	MÉDIA PRESSÃO (10 - 50 bar)	ALTA PRESSÃO (> 50 bar)
Cloretos				+	+	+
Sólidos Dissolvidos	3000	200 - 300	20	700	500	200
Sólidos Suspensos Totais				10	5	0,5
Dureza	0,5 - 1,0	< 0,10	0	350	1	0,07
Alcalinidade	-	-	-	350	100	40
pH	8,5 - 9,5	8,5 - 9,5	8,5 - 9,6	7,0 - 10,0	8,2 - 10,0	8,2 - 9,0
DQO				5,0	5,0	1,0
Compostos orgânicos				1,0	1,0	0,5
Nitrogênio amoniacal				0,1	0,1	0,1
Fosfato	30 - 60	15 - 20	5 - 10	-	-	-
Sílica	< 150	30 - 10	5 - 2	30	10	0,7
Alumínio				5,0	0,1	0,01
Ferro	0,05 - 1,0	0,02 - 0,03	0,01 - 0,02	1,0	0,3	0,05
Manganês				0,3	0,1	0,01
Cálcio				+	0,4	0,01
Magnésio				+	0,25	0,01
Bicarbonato				170	120	48
Sulfato				+	+	+
Cobre	0,03 - 0,05	0,02	< 0,01	0,5	0,05	0,05
Zinco				+	0,01	0,01
Sulfeto de hidrogênio				+	+	+
Oxigênio dissolvido	0,02	0,005	0,005	2,5	0,007	0,0007

NOTA: *unidades expressas em mg.L^{-1} , com exceção de pH (adimensional).

+ aceito como recebido, caso sejam atendidos outros valores limites.

FONTE: USEPA (1980) *apud* USEPA (1992); CROOK (1996) *apud* MIERWA (2002); SENEVIRATNE (2007), modificada pela autora (2013)

Como é foi possível observar nas TABELAS 10 e 11 os requisitos de qualidade para sistemas de resfriamento e geração de vapor possuem distintas classificações; variando em função de ser com ou sem recirculação de água, e, em função da intensidade da pressão do sistema, respectivamente. Há indústrias que estabelecem requisitos de qualidade da água restritivos o suficiente para ser utilizado para diversas finalidade industriais.

Um exemplo de definição de requisitos de qualidade específicos para a reutilização de efluente doméstico tratado em indústria, é o projeto Aquapolo.

Este projeto é formado a partir da parceria entre SABESP e Foz do Brasil, e, fornecerá água de reuso por meio de efluente doméstico tratado da ETE ABC ao pólo petroquímico Complexo Capuava (SAMPAIO, 2012).

Na TABELA 12 encontram-se descritos os parâmetros definidos pelo pólo petroquímico para o recebimento de água de reuso.

TABELA 12 - REQUISITOS DE QUALIDADE DE ÁGUA PRODUZIDA PELO PROJETO AQUAPOLO

PARÂMETRO (mg.L ⁻¹)*	VALORES LIMITES DE QUALIDADE DO PROJETO AQUAPOLO
Alumínio	0,2
Cobre	0,1
DBO	10
DQO	20
Dureza total	100
Fenol	0,134
Ferro total	0,3
Fósforo total	0,5
Manganês	0,2
Amônia	1
Óleos e graxas	10
pH	6,5 - 7,5
Sílica	20
Sólidos em suspensão	2
Sulfetos	0,1
Turbidez (UNT)	1
Cloro livre residual	0,5 - 1,0

NOTA: *unidades expressas em mg.L⁻¹, com exceção de pH e turbidez.

FONTE: SILVA (2012).

A Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), fornece água industrial por meio da Estação de Tratamento de Água Industrial (ETAI) para algumas empresas do distrito industrial de Curitiba e região.

A qualidade da água é resultado de acordo contratual entre a SANEPAR e os consumidores industriais.

Na TABELA 13 estão relacionados os requisitos de qualidade para o abastecimento industrial de água confrontados com as características da água bruta que ingressa na ETAI.

TABELA 13 - CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA E REQUISITOS DE QUALIDADE DA ÁGUA PRODUZIDA NA ETA INDUSTRIAL DE CURITIBA

PARÂMETROS	CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA	REQUISITOS DE QUALIDADE PARA ABASTECIMENTO INDUSTRIAL
Agentes Tenso Ativos (mg.L ⁻¹ ABS)	0,2	0,2
Alcalinidade Total (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	80	50
Cálcio (mg.L ⁻¹ Ca)	15	20
Cianetos (mg.L ⁻¹ CN)	0,1	0,1
Cloretos (mg.L ⁻¹ Cl)	28	40
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	200	400
Cor aparente (uH)	65	10
Fenóis (mg.L ⁻¹)	0,1	0,1
Fluoreto (mg.L ⁻¹ F)	0,1	0,1
Magnésio (mg.L ⁻¹)	5	5
Carbono Orgânico Total (mg.L ⁻¹)	6	3
Nitratos (mg.L ⁻¹ NO ₃)	1	1
Nitritos (mg.L ⁻¹ NO ₂)	1	0,2
pH	6,2 - 8,2	6,2 - 8,2
Sólidos suspensos (mg.L ⁻¹)	50	2
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	270	192
Sulfatos (mg.L ⁻¹)	14	50
Turbidez (NTU)	10	2
DBO (mg.L ⁻¹ DBO ₅)	9	3
DQO (mg.L ⁻¹ O ₂)	26	8
Fosfato total (mg.L ⁻¹ P)	0,8	0,1
Nitrogênio amoniacal (mg.L ⁻¹ N)	1	2
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹ N)	2	5
Óleos e graxas (mg.L ⁻¹)	10	3
Alumínio (mg.L ⁻¹ Al)	0,2	0,1
Arsênio (mg.L ⁻¹ As)	0,1	0,1
Bário (mg.L ⁻¹ Ba)	0,2	0,1
Cádmio (mg.L ⁻¹ Cd)	0,1	0,1
Chumbo (mg.L ⁻¹ Pb)	0,1	0,1
Cobre (mg.L ⁻¹ Cu)	0,1	0,05
Cromo (mg.L ⁻¹ Cr)	0,1	0,1
Ferro total (mg.L ⁻¹ Fe)	0,1	0,1
Manganês (mg.L ⁻¹ Mn)	0,1	0,1
Merúrio (mg.L ⁻¹ Hg)	0,1	0,1
Potássio (mg.L ⁻¹ K)	6	6
Prata (mg.L ⁻¹ Ag)	0,1	0,1
Selênio (mg.L ⁻¹ Se)	0,1	0,1
Sílica (mg.L ⁻¹ SiO ₂)	12	12
Sódio (mg.L ⁻¹ Na)	25	30
Zinco (mg.L ⁻¹ Zn)	0,1	0,1

FONTE: SANEPAR (2013).

2.4.5 Reúso de efluente doméstico tratado - Caso Coats Corrente

No Estado de São Paulo, a Companhia de Saneamento Estadual (SABESP) comercializa água de reúso para indústrias. O custo unitário (R\$/m³)¹ da água de reúso é de R\$ 0,94 para empresas privadas e R\$ 0,56 para empresas públicas. Para efeito comparativo o custo unitário de água potável (SP) é R\$ 11,60/m³.

A ETE Jesus Netto fornece água de reúso para a Coats Corrente, sendo a primeira ETE a formalizar contrato de fornecimento de água de reúso para a indústria. A ETE Jesus Netto foi inaugurada em 1934 com uma capacidade instalada de 50 L.s⁻¹, com tratamento preliminar, primário e secundário.

A adaptação do sistema para produção de água de reúso, constitui-se de um tanque de desinfecção e reservatório de água de reúso que estão junto aos filtros biológicos, e há 4 filtros para o polimento do efluente.

Esta estação de reúso fornece à Coats Corrente uma vazão média mensal de água de reúso da ordem de 54.500 m³/mês, através de uma tubulação de recalque. A vazão média tratada nesta ETA é de 45 L.s⁻¹, onde 15 L.s⁻¹ vêm do sistema combinado reator anaeróbio/filtro biológico e 30 L.s⁻¹ do sistema de lodo ativado; a ETA está equipada com um medidor eletromagnético para controle de produção de efluente na estação (TELLES *et al.*, 2010).

O processo utilizado para a obtenção da água de reúso origina-se a partir do decantador secundário. O tratamento é feito através de processo físico-químico e desinfecção. Na sequência do tratamento biológico, o esgoto é direcionado ao tratamento físico-químico, constituído por coagulação, floculação e sedimentação, empregando-se policloreto de alumínio como coagulante, neste ponto também adiciona-se hipoclorito de sódio (cloro) para desinfecção (TELLES *et al.*, 2010).

¹ Custos unitários (abr.2012) obtidos no 1º Simpósio Internacional de Reúso de Água, realizado em Curitiba (PR) em outubro de 2012.

O sistema de tratamento é composto basicamente pelas seguintes unidades de tratamento, descritos no QUADRO 8.

ETAPA DO TRATAMENTO	PROCESSO
Sistema de lodo ativado	Decantação primária, tanques de aeração, decantação secundária, adição de coagulante e desinfecção com hipoclorito de sódio, tanque de desinfecção, reservatório de água de reúso.
Sistema combinado reator anaeróbio - filtro biológico	Reator anaeróbio de fluxo ascendente, câmara de aeração, filtro biológico, adição de coagulante e desinfecção com hipoclorito de sódio, tanque de desinfecção, reservatório de água de reúso.
Filtração complementar	Constituído por 4 filtros de pressão com camada filtrante dupla areia/antracito e seis filtros de cartucho.

QUADRO 8 - UNIDADES DE TRATAMENTO DA ETE JESUS NETTO

FONTE: TELLES *et al.* (2010), modificado pela autora (2013)

Segundo Telles *et al.* (2010), a SABESP investiu aproximadamente R\$ 800.000,00 para implantação do sistema de reúso na ETE Jesus Netto, o equivalente à R\$ 0,76/m³ de esgoto tratado por mês.

2.4.6 Reúso de efluente doméstico tratado - Projeto Aquapolo

O projeto Aquapolo é considerado o 5º maior empreendimento de recuperação de água para fins industriais do mundo, tendo como insumo esgoto tratado (ODEBRECHT, 2010).

Com capacidade instalada para produzir 650 L.s⁻¹ de água de reúso, o Aquapolo abastecerá o pólo petroquímico do ABC paulista. Este projeto prevê a construção de uma estação de tratamento em nível terciário em uma área de 15 mil m² dentro da ETE ABC da SABESP, localizada na divisa entre os municípios de São Paulo e São Caetano do Sul.

A condução da água de reúso para o Polo Petroquímico demandará a construção de uma adutora de aço com cerca de 17 km de extensão, que passará pelos municípios de São Caetano do Sul e Santo André até chegar ao pólo petroquímico em Mauá (SILVA, 2012).

Os processos de tratamento terciário para a produção de água de reúso industrial previstos no projeto Aquapolo são apresentados no QUADRO 9.

UNIDADES DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA REÚSO INDUSTRIAL	
1.	Estação elevatória de baixa carga, seis caixas coletoras captam a água secundária vinda da ETE ABC, seguindo para a Estação Elevatória de Baixa Carga.
2.	Filtros de discos.
3.	Biorreatores, onde ocorre o tratamento biológico por meio de tanques com tecnologia MBR (biorreatores a membrana).
4.	Sistema de membranas de Ultrafiltração
5.	Osmose reversa.
6.	Desinfecção, com dióxido de cloro.
7.	Reservação da água industrial produzida., por meio de quatro tanques cobertos, com capacidade total de 68.000 m ³
8.	Adução da água para o pólo, por meio de estação elevatória de alta carga a distribuição é realizada através de adutora de 17 Km de comprimento e 900 mm de diâmetro.

QUADRO 9 - UNIDADES DE TRATAMENTO DA AQUAPOLO

FONTE: SILVA (2012), modificado pela autora (2013)

O projeto prevê uma produção de 1.700.000 m³/mês (650 L.s⁻¹) em sua primeira fase enquanto que, na sua segunda fase são previstos 2.600.000 m³/mês de água de reúso produzida (SILVA, 2012).

2.4.7 Reúso de efluente tratado - Japão

Asano, Maeda e Takaki (1996) comentam que o Japão desde 1968 vem fazendo a recuperação de águas residuais urbanas e desenvolvendo projetos de reuso. De todo o volume de efluente urbano tratado, aproximadamente 15.000.000 m³ são utilizados por indústrias diariamente, o que corresponde à mais de 40% do volume reutilizado em todo o país.

Lavrador Filho (1987 *apud* GIORDANI, 2002) relata que nos distritos de Koh-Toh e Joh-Houku, localizados em Tóquio e na cidade de Nagoya, a utilização de efluentes tratados em nível secundário seguido de coagulação, sedimentação, filtração rápida em areia e cloração, ocorre de acordo com o indicado nas TABELAS 14 e 15, dispostas na sequência.

Na TABELA 14 estão relacionadas as indústrias da cidade de Tóquio que utilizam efluente urbano tratado.

TABELA 14 - INDÚSTRIAS QUE UTILIZAM EFLUENTE URBANO TRATADO EM TÓQUIO

SETOR INDUSTRIAL	PERCENTUAL
Química	25,2%
Metalúrgica	15,3%
Alimentícia	9,4%
Couro	11,7%
Papel e Celulose	15,1%
Outros	23,3%

FONTE: LAVRADOR FILHO (1987) *apud* GIORDANI (2002).

Na TABELA 15 estão descritas as finalidades dadas pelos segmentos industriais relacionados na TABELA 14, ao efluente urbano tratado.

TABELA 15 - FINALIDADE DO EFLUENTE URBANO TRATADO UTILIZADO PELAS INDÚSTRIAS EM TÓQUIO

FINALIDADE	PERCENTUAL
Resfriamento	25,2%
Limpeza	15,3%
Tratamento do produto	9,4%
Incorporação ao produto	11,7%
Alimentação de caldeiras (geração de vapor)	15,1%
Outros	23,3%

FONTE: LAVRADOR FILHO (1987) *apud* GIORDANI (2002).

Como visto anteriormente (item 2.4.2.) o resfriamento, atividade industrial com grande potencial de reuso de efluente tratado, também é uso de maior demanda interna de água na indústria. Na TABELA 15 constata-se, de fato, que no Japão a reutilização de efluente tratado é majoritariamente para sistemas de resfriamento.

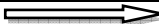


2.5 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁGUA

Se a qualidade da água requerida é função do seu uso preponderante (consumo humano, recreação, abastecimento industrial, irrigação e outros), para a água de reúso adota-se o mesmo princípio.

Como descrito no Capítulo 2.2.3, o uso final da água indica os requisitos de qualidade de água e estes, por consequência, determinam os níveis de tratamento para recuperação de água a partir de efluentes domésticos. O tratamento avançado é empregado para proporcionar a recuperação de água ou produção de água de reúso, sendo que essa recuperação poderá proporcionar o reúso potável indireto, incluindo recarga de aquífero e reúso potável, conforme indicado no QUADRO 10.

Lembrando que a eficiência do projeto está diretamente ligada às condições de sua viabilidade técnica e econômica (TELLES *et al.*, 2010), e faz-se necessário a adoção de práticas preventivistas relacionadas à manutenção de equipamentos e sistemas, e, monitoramento contínuo da qualidade dessas águas recuperadas.

No QUADRO 10 observa-se o aumento dos níveis de tratamento de acordo com o tipo de reúso a que pretende destinar.

NÍVEL DE TRATAMENTO	AUMENTO DOS NÍVEIS DE TRATAMENTO 			
	PRIMÁRIO	SECUNDÁRIO	FILTRAÇÃO E DESINFECÇÃO	AVANÇADO
PROCESSOS	Sedimentação	Oxidação biológica e desinfecção.	Coagulação química, remoção química ou biológica de nutrientes, filtração e desinfecção.	Carvão ativado, osmose reversa, processos oxidativos avançados, entre outros.
USO FINAL	Nenhum uso recomendado	Irrigação de pomares e vinhedos.	Irrigação de jardins e campos de golfe.	Reúso potável indireto, incluindo recarga de aquífero potável e reúso potável.
		Irrigação de culturas não alimentares.	Descarga de bacias sanitárias.	
		Represamentos com restrições.	Lavagem de veículos.	
		Recarga de águas subterrâneas de aquífero não potável.	Irrigação de culturas alimentares.	
		Zonas úmidas, habitat de fauna silvestre (vida selvagem).	Represamento de lazer irrestrito.	
		Sistemas de refrigeração industrial.	Sistemas industriais.	
EXPOSIÇÃO HUMANA	Aumento dos níveis aceitáveis de exposição humana 			
CUSTO	Aumento do investimento 			

QUADRO 10 - INCREMENTO NOS NÍVEIS DE TRATAMENTO APROPRIADO PARA DIFERENTES TIPOS DE REÚSO DE ÁGUA
FONTE: USEPA (2012).

Florencio *et al.* (2006) comentam que em qualquer modalidade de reúso uma elevada remoção de patógenos é necessária. Sendo assim, a avaliação da capacidade de remoção de patógenos de cada processo de tratamento deve ser realizada a partir do seguinte entendimento (FLORENCIO *et al.*, 2006; PÁDUA *et al.*, 2009):

- Bactérias e vírus são, preponderantemente, removidos pela ação de agentes desinfetantes físicos (radiação UV, por exemplo) artificial ou natural (lagoas, p. ex.); em ordem crescente à ação desinfetante encontram-se: bactérias, vírus, protozoários e helmintos.
- Enquanto que protozoários e helmintos são removidos, por processos físicos de separação, filtração e decantação, por exemplo.

Desta forma, a concepção de sistemas de tratamento com vistas ao reúso, pode ser bastante distinta dos processos de tratamento focados no atendimento de padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores. A concepção integrada de sistemas de tratamento e reúso pode demandar complexidade e flexibilidade necessárias para atender a padrões de qualidade de efluente compatíveis com a utilização e, ou, lançamento em corpos receptores (FLORENCIO *et al.*, 2006).

2.5.1 Separação por membranas

No processo de separação por membranas são utilizadas membranas sintéticas, porosas ou semipermeáveis para separar água de partículas sólidas de pequenos diâmetros, moléculas e, dependendo da situação, compostos iônicos dissolvidos. O processo ocorre através da passagem da corrente de alimentação em uma direção perpendicular ao meio filtrante, como por exemplo: areia, antracito, carvão, entre outros, sendo que todo o fluxo atravessa o meio filtrante criando uma única corrente de saída (TELLES *et al.*, 2010).

Seneviratne (2007) comenta que a notoriedade dos processos de membrana resultam da sua eficácia na remoção de sólidos dissolvidos e sólidos suspensos,

simultaneamente. De acordo com Seneviratne (2007), algumas das vantagens da utilização do processo de separação por membranas estão listadas a seguir:

- Capacidade de recuperar tanto o permeado (água limpa) e concentrado;
- Aplicável a uma ampla gama de processos;
- Construção modular possibilitando a ampliação;
- Baixo requisitos de energia.

Em contrapartida as desvantagens das membranas, segundo SENEVIRATNE (2007), são:

- Alto investimento inicial;
- Requer substituição periódica da membrana;
- Tendência a incrustação irreversível exigindo substituições com maior frequência;
- Produtos químicos fortes, solventes e pH extremo podem degradar certos elementos da membrana;
- Aplicação limitada em altas temperaturas.

Os principais processos de separação por membranas são:

- Microfiltração (MF)
- Ultrafiltração (UF)
- Nanofiltração (NF)
- Osmose Reversa (OR)

No QUADRO 11 são relacionados alguns parâmetros comparativos entre os principais tipos de filtração por membranas.

PARAMÊTROS	MF	UF	NF	OR
DIÂMETRO DOS POROS (mm)	0,1 - 5	0,001 - 0,1	< 0,001	< 0,001
PRESSÃO (bar)	< 2,0	1 - 10	5 - 35	15 - 150
REMOÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO	sim	sim	sim	sim
REMOÇÃO DE MICRORGANISMOS	Protozoários, cistos, bactérias e algas	Protozoários, cistos, bactérias, algas e vírus	todos	todos
REMOÇÃO DE ORGÂNICOS	nenhum	sim	sim	sim

PARAMÊTROS	MF	UF	NF	OR
DISSOLVIDOS				
PRINCIPAIS COMPOSTOS REMOVIDOS	Bactérias, vírus, sólidos suspensos, emulsões oleosas, <i>crystosporidium</i>	Proteínas, amidos, antibióticos, vírus, sílica coloidal, orgânicos, bactérias, óleo solúvel, biomassa de lodo ativado	Amidos, açúcares, pesticidas, herbicidas, pirógenos, íons divalentes, orgânicos, metais pesados, detergentes	Íons monovalentes, açúcares, sais aquosos, corantes sintéticos
AS APLICAÇÕES MAIS COMUNS	Indicado para a remoção de sólidos suspensos. Usado como pré-tratamento para as unidades de osmose reversa.	Reduz turbidez em 99%. O pré-tratamento para outros sistemas de purificação.	Tem capacidade de amaciamento da água, ou seja, rejeição de sais divalentes (Ca e Mg) e alguma rejeição de sais monovalentes, tais NaCl.	Usado como pré-tratamento para desmineralização baixo sólidos dissolvidos efluente é necessária.
DESVANTAGENS	Não há redução de sólidos dissolvidos. Muitas membranas estão sujeitas a ataques químicos A corrente de concentrado pode trazer problemas com relação a destinação final Substâncias iônicas e gases dissolvidos não são afetados	Não há redução de sólidos dissolvidos, sais ou de remoção de dureza	Propensos a proliferação de materiais coloidais polímeros de tratamento de água. Requer pré-tratamento	Não é adequado para efluentes com sólidos suspensos A membrana pode sofrer ataque químico por alguns materiais presentes na solução Requer pré-tratamento O concentrado gerado pode trazer problemas em termos de destinação final
TAXA DE RECUPERAÇÃO	100%	75%	70-85%	50-85%
ESTRUTURA DA MEMBRANA	Fluoreto, polissulfonas (PSO), polipropileno, poliacrilonitrila, cerâmica	Celulose acetato, película fina	Acetato de celulose, compósitos	Acetato de celulose, compósitos, polisulfonas

QUADRO 11 - COMPARAÇÃO ENTRE OS PRINCIPAIS PROCESSOS DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS

FONTE: MIERZWA (2002), SENEVIRATNE (2007), CAVALCANTI (2009), modificado pela autora (2013)

Telles *et al.* (2010) citam que através da nanofiltração é possível remover compostos orgânicos, como por exemplo, os micropoluentes orgânicos oriundos da degradação de compostos provenientes de estações de tratamento de efluentes sanitários, desmineralização, remoção de cores e dessalinização. A nanofiltração também é utilizada para desmineralizar água salobra ou pouco salina, enquanto que a osmose reversa tem sua principal aplicação na dessalinização da água do mar.

A osmose reversa, por sua vez, consiste no fluxo natural de transporte de um solvente, por meio de uma membrana semipermeável, com a transferência da solução diluída para a mais concentrada (TELLES *et al.*, 2010).

Ramírez *et al.* (2006) em seus estudos comparativos de membranas de osmose reversa para recuperação de águas residuais, constatou que:

- Um pré-tratamento adequado é de extrema importância para o desempenho da membrana, no caso de entupimento, ocorrerá em menor quantidade.
- Um sistema de lavagem adequado aumenta a vida útil de membranas de osmose reversa.
- As análises de água revelaram que para os parâmetros estudados (pH, DBO, turbidez, sólidos suspensos, sulfatos, nitratos, coliformes totais, entre outros), a qualidade do efluente obtida é elevada.
- E por fim, os autores constataram que o tratamento com membranas por osmose reversa, permite que a água recuperada seja utilizada em recarga das águas subterrâneas, devido a elevada qualidade do tratamento.

Oenning (2002) analisou um efluente filtrado por osmose reversa e os resultados foram muito satisfatórios. De acordo com o autor os parâmetros analisados (pH, turbidez, cor, DQO, DBO, ST, SST, SDT, coliformes totais e coliformes termotolerantes) atenderam plenamente aos requisitos de qualidade para reúso de água em indústria metal-mecânica.

Lobo (2004) cita que a utilização de membranas no tratamento de efluentes requer alguns cuidados para evitar a formação de depósitos de matéria orgânica e o crescimento de microrganismos.

2.5.2 Biorreator com Membrana (MBR)

A tecnologia MBR (*Moving bed Biofilm Reactor* ou Reator de Leito Móvel com Biofilme), é um tratamento biológico que envolve os processos de lodos ativados e tecnologias que utilizam biofilme (CAVALCANTI, 2009).

Com o citado o processo baseia-se na combinação de um reator biológico com a separação por membranas.

A operação do biorreator assemelha-se com o processo de lodos ativados convencional contudo, sem a necessidade de clarificação (decantador secundário) ou etapa terciária como a filtração com areia, por exemplo (MELIN *et al.*, 2006). Para a separação do efluente é utilizada uma membrana de baixa pressão, tanto de microfiltração (MF) como de ultrafiltração (UF) (MELIN *et al.*, 2006).

Cavalcanti (2009) cita que a utilização de MBR pode fornecer melhorias em instalações de tratamento já existentes podendo também propiciar nitrificação e desnitrificação. Apresentam alta eficiência na remoção de matéria orgânica solúvel presente em efluentes domésticos, sendo que o efluente final produzido possui alto grau de depuração, além de ser isento de sólidos em suspensão e microorganismos.

Wintgens *et al.* (2005) relata que o Biorreator com Membrana (MBR) é um tipo de tecnologia para tratamento avançado através do qual é possível produzir água de qualidade comparável à água potável.

As duas configurações principais de MBR envolvem membranas imersas ou submersas, isto é, separadas do reator (MELIN *et al.*, 2006; TOMAZ, 2010).

Uma das principais vantagens dos MBR com módulo submerso é o baixo consumo energético (VIERO, 2006).

O processo MBR proporciona um nível considerável de desinfecção física e apresenta várias vantagens (CAVALCANTI, 2009; MELIN *et al.*, 2006), conforme demonstrados no QUADRO 12.

O QUADRO 12 elenca vantagens e desvantagens do MBR quando comparado com sistemas de lodos ativados convencional.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none"> • Menor produção de lodo • Reator com menores dimensões • Menor sensibilidade a picos de carga • Melhores resultados e mais consistentes de qualidade do efluente, devido a filtração por membranas • Todo o volume do tanque de aeração é utilizado para o crescimento da biomassa • Não há necessidade de reciclo de lodo • Alta qualidade do efluente podendo o mesmo ser usado para resfriamento, descarga em bacias sanitárias, por exemplo. • Tempo de retenção do lodo pode ser controlado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Transferência de oxigênio menos eficiente • Manutenção e monitoramento frequentes da membrana • Membranas podem ser sensíveis a determinadas substâncias químicas • Limitações impostas pela requisitos de pressão, temperatura, e pH para satisfazer as tolerâncias da membrana • Alto custo de implantação e de operação, aproximadamente 50% mais caro quando comparado aos lodos ativados convencional

QUADRO 12 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DA TECNOLOGIA MBR EM RELAÇÃO AO SISTEMA DE LODOS ATIVADOS CONVENCIONAL

FONTE: TSUTIYA *et al.* (2001) *apud* TOMAZ (2010), MELIN *et al.* (2006), CAVALCANTI (2009), TOMAZ (2010), modificado pela autora (2013)

Tomaz (2010) comenta que, geralmente, a manutenção das membranas é feita uma vez por ano, onde é realizada uma limpeza com jato de ar das membranas e se retira o lodo acumulado. Durante esta operação é adicionado sulfato férrico para reduzir a disponibilidade de nitrogênio nos esgotos.

Na TABELA 16 é indicada a eficiência de sistemas de biorreatores com membrana na remoção de impurezas.

TABELA 16 - QUALIDADE DA ÁGUA E PRINCIPAIS PARÂMETROS DE QUALIDADE APÓS TRATAMENTO POR MBR

PARÂMETRO	UNIDADE	EFLUENTE BRUTO	EFLUENTE APÓS TRATAMENTO POR MBR*
Sólidos em suspensão	mg.L ⁻¹	120 - 400	< 2
Carbono orgânico total	mg.L ⁻¹	80 - 260	0,5 - 5
Nitrogênio	mg.L ⁻¹	20 - 70	< 10 ^(a)
Fósforo	mg.L ⁻¹	4 - 12	< 0,3 ^(b) - 5
Turbidez	UNT	-	≤ 1
Compostos orgânicos voláteis	µg.L ⁻¹	<100 - >400	10 - 20
Compostos traços	µg.L ⁻¹	10 - 50	0,5 - 20
Coliformes totais	nº/100 mL	10 ⁶ - 10 ⁹	< 100
Cistos e oocistos de protozoários	nº/100 mL	10 - 10 ⁴	0 - 1
Vírus	PFU/100 mL	10 - 10 ⁴	1 - 10 ³

NOTA: *o tratamento indicado não inclui etapa de desinfecção. ^(a) com zona anóxica. ^(b) com aplicação de coagulante.

FONTE: ASANO *et al.* (2007) *apud* NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (2012).

Na TABELA 17 é indicada a eficiência de MBR com membrana submersa, proposto por Melin *et al.* (2006) e Cavalcanti (2009).

TABELA 17 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO EM BIORREATORES COM MEMBRANA SUBMERSA

PARÂMETRO (mg.L ⁻¹)*	EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO (%)	QUALIDADE DO EFLUENTE FINAL (mg.L ⁻¹)*
Sólidos Suspensos	> 99	< 2
Turbidez (UNT)	98,8 - 100	< 1
DQO	89 - 98	10 - 30
DBO	> 97	< 5
Carbono orgânico dissolvido	-	5 - 10
Nitrogênio amoniacal	80 - 90	< 5,6
Nitrogênio total	36 - 80	< 27
Fósforo total	62 - 97	0,3 - 2,8
Coliformes totais (UFC/100ml)	5 - 8 log	< 100
Bacteriófagos (PFU/100ml)	> 3,8 log	-

NOTA: *parâmetros expressos em mg.L⁻¹, exceto turbidez e microrganismos.

FONTE: CAVALCANTI (2009), MELIN *et al.* (2006), modificado pela autora (2013)

Arévalo *et al.* (2012) e Cartagena *et al.* (2013) estudaram a qualidade do efluente doméstico tratado por MBR e observaram que a qualidade da água recuperada obtida foi bastante expressiva, com alta eficiência de remoção de poluentes e atendimento aos requisitos mínimos para a reutilização das águas residuais.

Viero (2006) avaliou o desempenho de um biorreator com membranas submersas durante o tratamento de efluente sintético simulando esgoto doméstico. O efluente tratado apresentou ausência de turbidez e obteve-se elevadas remoções de DQO, 95 - 100% de eficiência, e de COD, com intervalo de eficiência de 92 - 96%.

Florido (2011), em sua tese sobre tratamento de efluente de refinaria pelo processo combinado de adsorção em carvão ativado e biorreator com membranas, constatou que a tecnologia de MBR apresenta alta eficiência de remoção de compostos orgânicos e nitrogênio amoniacal.

Pombo (2011) em sua tese sobre a gestão da demanda de água na indústria de refino de petróleo comenta que das tecnologias estudadas para o reúso de efluentes, àquelas que mais se destacam em termos de eficiência são: o tratamento com membranas, os biorreatores com membranas (MBR) e a osmose inversa. O autor comenta que no caso de uma refinaria com grande acesso a efluentes doméstico, a tecnologia apropriada seria a MBR.

2.5.3 Carvão ativado

Cavalcanti (2009) cita que adsorção é o processo que faz a separação de substâncias orgânicas e inorgânicas que estão em solução sobre uma interface entre um líquido e um sólido. O mecanismo de separação com carvão ativado é função de uma rápida concentração de equilíbrio, seguida de uma lenta difusão das moléculas de soluto dentro dos poros das partículas de carvão ativado.

A adsorção em carvão ativado é aplicada principalmente para remover compostos orgânicos de tratamento complexo e alguns compostos inorgânicos, como por exemplo, nitrogênio, sulfetos e metais pesados. Mustafá (1998) comenta que o carvão ativado pode ser produzido nas formas pulverizada (PAC) ou granulada (GAC), sendo que as aplicações dos dois tipos são bastante distintas.

Mustafá (1998) relata que o carvão pulverizado é usado somente em adsorções em fase líquida, onde o carvão é misturado diretamente ao líquido a ser purificado. A separação do carvão e do líquido tratado ocorre por meio dos processos físicos de filtração, decantação ou centrifugação; o PAC, por sua vez, não permite regenerações. O GAC pode ser aplicado em fase líquida ou gasosa. Esse tipo de carvão ativado permite regenerações, que podem ser realizadas através de vapor, solventes ou ar comprimido. O carvão ativado pode ser de origem vegetal ou mineral, uma das matérias-primas para a produção do GAC, é a casca de coco, resultando em um produto de rígida estrutura, o que viabiliza a sua regeneração (MUSTAFÁ, 1998; SANTOS, 2007).

A baixa solubilidade do contaminante no efluente e a alta afinidade do contaminante pelo carvão ativado são propriedades que resultam na adsorção de uma substância (no caso o contaminante presente no efluente) sobre o carvão ativado (IDAHO, 1992 *apud* MIERZWA, 2002, CAVALCANTI, 2009).

O processo de adsorção de substâncias dissolvidas no carvão ativado ocorre em três etapas sequenciais (CAVALCANTI, 2009):

- Transferência do adsorvido através de um filme biológico, no caso bactérias, que se formam em torno do adsorvente (carvão ativado), formando um filtro biológico;
- Difusão através dos poros do carvão ativado; e,

- Formação de ligações químicas entre as moléculas do material orgânico dissolvido e do carvão ativado.

O carvão é bastante utilizado no tratamento de águas potáveis e industriais e de efluentes líquidos (MUSTAFÁ, 1998; TELLES *et al.*, 2010). Possui alta capacidade de extrair cor, sabor, odores desagradáveis, matéria orgânica, compostos tóxicos e servir de suporte para a biomassa (da água), o carvão ativado também pode ser usado no tratamento de gases, atuando como filtro, adsorvendo contaminantes nocivos ao ar. São utilizados, também, para a descloração de águas com alto teor de cloro (MUSTAFÁ, 1998).

Mustafá (1998) cita que o carvão ativado é utilizado para adsorver contaminantes de gases industriais em filtros e gases tóxicos em máscaras de proteção respiratória.

Silva *et al.* (2012) analisaram o comportamento do carvão ativado granular no tratamento de água bruta. O sistema piloto era composto por dupla filtração, seguindo de oxidação e adsorção. Os autores constataram que as eficiências, referentes à remoção de cianobactérias, foram acima de 95% em todos os ensaios realizados, ficando dentro dos padrões de potabilidade da água. Outros parâmetros como matéria orgânica, turbidez e cor, a eficiência de adsorção com carvão ativado granular, como pós-tratamento, mostrou ser ainda mais eficiente.

Oenning (2006) avaliou tecnologias avançadas para o reúso de água em indústria metal mecânica e constatou que a adsorção com carvão ativado e filtração por osmose reversa forneceram os melhores resultados em termos de qualidade do efluente para reúso. No caso do carvão ativado, todos os parâmetros (exceto pH) satisfazem as diretrizes de reúso propostas em seu estudo.

2.5.4 Radiação Ultravioleta (UV)

Radiação UV é entendida como uma radiação eletromagnética tendo como comprimento de onda menor do que a luz visível (400 nm) e maior do que a luz do raio X (100 nm). A unidade de comprimento de onda utilizada, nanômetro, equivale a 10^{-9} metros (CAVALCANTI, 2009).

A fonte primária de radiação ultravioleta é o sol, porém existem instrumentos que emitem radiação UV, como lâmpadas incandescentes e fluorescentes, solda elétrica, maçarico de plasma e equipamentos a laser (OLIVEIRA, 2003).

Esta forma de radiação provoca a inativação da atividade microbiana através da adsorção da luz, causando uma reação fotoquímica, alterando componentes moleculares essenciais, resultando em dano ou morte. É usada para desinfecção de água, enquanto que para a degradação de compostos orgânicos presentes nos efluentes ainda é pouco estudada (TELLES *et al.*, 2010).

As lâmpadas especiais da radiação UV impedem a reprodução de agentes patogênicos sem, no entanto, gerar subprodutos tóxicos. A eficiência depende, em especial, das características do afluente, da concentração de coloides e partículas no efluente bruto, da intensidade de radiação UV e do tempo de exposição dos microrganismos à radiação (VON SPERLING, 2005).

Essa técnica mostra-se uma eficiente alternativa de desinfecção comparada ao cloro, pois apresenta comparável e, frequentemente, melhor eficiência na remoção de vírus e bactérias, além de não deixar residual e não apresentar potencialidade de gerar subprodutos (TELLES *et al.*, 2010).

Gonçalves *et al.* (2003) e Cavalcanti (2009) citam que na desinfecção por UV ocorre a inativação dos microorganismos, isso se dá em função da radiação causar alterações estruturais no DNA que impedem a crescimento biológico desses indivíduos. É um método físico, com alta eficiência e simplicidade de operação e não requer adição de substância química ou aditivos (GONÇALVES, 2003).

Quando utilizada isoladamente é bastante efetiva para inativar, vírus, esporos e cistos contidos em efluentes (CAVALCANTI, 2009). A radiação ultravioleta é eficaz no processo de desinfecção quando atinge diretamente os microrganismos. Dessa forma, o esgoto a ser desinfetado deve apresentar baixas concentrações de sólidos suspensos, cor e turbidez, para que esses parâmetros não atuem na absorção da energia ultravioleta e na proteção dos microrganismos contra a radiação UV, pois esse aspecto pode resultar em baixa eficiência da desinfecção por UV (CHEMICARO *et al.*, 2001; DANIEL *et al.*, 2001).

Chemicaro *et al.* (2001) comentam que a radiação UV apresenta uma série de vantagens intrínsecas para a desinfecção de esgotos tratados, especialmente por não gerar subprodutos prejudiciais ao meio ambiente e por não apresentar toxicidade aos peixes.

Wang *et al.* (2011) estudaram a desinfecção de água para reúso através de uso sequencial de radiação UV e cloração, e os resultados apontaram que a sequência (UV + Cl) pode controlar a fotorreativação e minimizar a concentração de cloro, e por consequência, diminuir a genotoxicidade de águas residuais tratadas.

Friedler e Gilboa (2010) analisaram o desempenho da desinfecção com UV e da qualidade microbiológica de águas cinzas de efluentes ao longo de um sistema de reutilização para descarga de sanitários. O sistema de desinfecção através de UV mostrou-se bastante satisfatório, resultando em significativa redução de coliformes termotolerantes e *Staphylococcus Aureus*. Em contrapartida, a sua eficiência de inativação de bactérias heterotróficas (HPC) e *Pseudomonas Aeruginosas* foi bem inferior, mostrando-se resistentes aos raios UV.

Oliveira (2003) estudou a desinfecção de efluentes sanitários tratados através de radiação UV e constatou que tanto a concentração como o diâmetro das partículas de sólidos suspensos influenciou na eficiência da desinfecção. Ovos de *áscaris lumbricoides* e *trichuris trichiura* apresentaram grande resistência a inativação por UV. Todavia, houve uma excelente remoção de coliformes totais como *escherichia coli*, acima de 99,99% de eficiência, mesmo em amostras com valores altos de SST, DQO, turbidez e cor, evidenciando a viabilidade da radiação UV na desinfecção de efluentes sanitários.

2.5.5 Processos Oxidativos Avançados (POA)

Na desinfecção é utilizado um agente químico ou físico com o objetivo principal de eliminar microrganismos patogênicos presentes na água, tais como bactérias, protozoários e vírus.

O desinfetante mais utilizado no tratamento de água potável é o cloro, altamente eficiente na remoção de patogênicos, de baixo custo e com uma praticidade de aplicação amplamente apreciada e, por consequência, o cloro tornou-se o principal desinfetante utilizado, tanto em águas de abastecimento quanto em efluentes domésticos. Contudo, na presença de substâncias orgânicas (como é o caso dos efluentes domésticos), o uso do cloro pode acarretar na formação de subprodutos altamente tóxicos, como os trihalometanos (TELLES *et al.*, 2010).

Alternativas de desinfecção com cloro são baseadas no emprego do ozônio, dióxido de cloro, peróxido de hidrogênio, radiação UV, entre outros, que são fundamentadas no princípio dos Processos Oxidativos Avançados (POA), que consiste na geração de radicais livres hidroxila ($\text{OH}\cdot$), agentes altamente oxidantes capazes de mineralizar componentes orgânicos a formas não tóxicas, como gás carbônico e água (TELLES *et al.*, 2010).

Segundo Cavalcanti (2009) os processos oxidativos avançados são caracterizados também pela versatilidade, uma vez que a obtenção dos radicais hidroxila pode ser realizada por vários meios e combinações entre os oxidantes. Algumas das associações possíveis desses oxidantes são as seguintes:

- Peróxido de hidrogênio/radiação UV
- Ozônio/radiação UV
- Ozônio/peróxido de hidrogênio
- Ozônio/radiação UV/peróxido de hidrogênio
- Peróxido de hidrogênio/radiação UV

2.5.5.1 Dióxido de Cloro (ClO_2)

O dióxido de cloro foi descoberto em 1811, sendo que sua 1ª utilização ocorreu em 1940, bastante empregado em países como Itália, Alemanha e Bélgica (GONÇALVES *et al.*, 2003). O dióxido de cloro é um gás amarelo, com alto poder oxidante e desinfetante que possui molécula volátil e altamente energética, sendo um radical livre quando diluído em soluções aquosas (TELLES, *et al.*, 2010; GONÇALVES *et al.*, 2003). O ClO_2 tem amplas aplicações na desinfecção de água de abastecimento e em águas residuárias (GONÇALVES *et al.*, 2003).

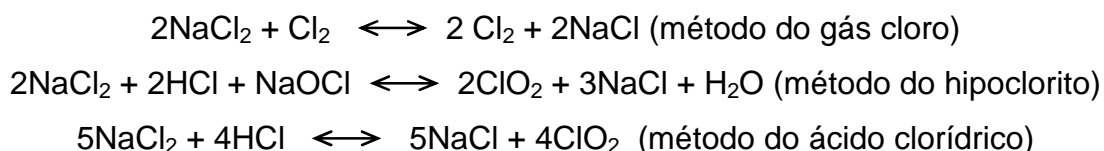
Telles *et al.* (2010) e Gonçalves *et al.* (2003) também citam que o ClO_2 é um agente oxidante com propriedades bactericidas (de acordo com CAVALCANTI, 2009, esta ação se processa por meio da destruição de microorganismos por interrupção do transporte de nutrientes através da parede celular), esporicidas e virucidas, podendo ser utilizado no controle de cor e odor e na oxidação de compostos inorgânicos como o ferro ou manganês. Na desinfecção de esgotos com

compostos de cloro, a concentração do desinfetante se altera com o tempo e, particularmente durante os momentos iniciais da aplicação do cloro, passa por transformações rápidas, desde a forma livre até as formas combinadas.

Desta forma, torna-se mais importante determinar a concentração de cloro residual do que a de cloro aplicado. Outros aspectos relevantes e que interferem no processo de desinfecção são (GONÇALVES *et al.*, 2003):

- Presença de sólidos no efluente, uma vez que estes podem proteger os microrganismos da ação do desinfetante;
- pH do efluente, como a inativação de microrganismos aumenta com o decréscimo do pH, tanto para residuais de cloro livre como de cloro combinado;
- Temperatura, o aumento desta eleva a taxa de inativação dos microrganismos.

O dióxido de cloro pode ser gerado a partir da reação de clorito de sódio (NaCl_2) com cloro (Cl_2), produzindo dióxido de cloro gasoso (CAVALCANTI, 2009), de acordo com as reações expostas a seguir:



De acordo com TELLES *et al.* (2010) o dióxido de cloro também permite controlar a formação de compostos responsáveis pelo sabor e odor na água, como os clorofenóis. Ao contrário do cloro gasoso, o dióxido de cloro não reage com a matéria orgânica presente na água, além de não originar subprodutos clorados, como os trihalometanos.

Chemicaro *et al.* (2001) por meio de estudos concluíram que apesar do dióxido de cloro ser um poderoso oxidante e desinfetante que não produz trihalometanos por cloração direta, ele pode gerar cloritos e cloratos (potencialmente cancerígenos), e pode ter um efeito potencializador de trihalometanos em etapas posteriores. Alguns subprodutos oxidados gerados pelo dióxido de cloro, são os aldeídos e cetonas, que também são considerados

potencialmente perigosos para a saúde humana, além de terem sido pouco estudados.

Lapoli *et al.* (2005) estudaram a desinfecção de efluentes sanitários através de dióxido de cloro e concluíram que o ClO_2 possui uma capacidade alta como agente oxidante e biocida em intervalos curtos de contato. De todos os testes realizados pelos autores, o dióxido de cloro promoveu a redução da DQO, por meio da oxidação da matéria orgânica, além de promover a clarificação do efluente e mostrou-se um desinfetante altamente eficaz no tratamento terciário de efluente doméstico. No experimento foram utilizadas baixas dosagens e curtos tempos de contato, o que foi suficiente para atingir 100% de remoção de coliformes termotolerantes.

Contudo, Narkis (1994) constatou que a eficiência do dióxido de cloro reduzia após 24 horas de contato microbiano, resultando em crescimento bacteriano. Os fatores apontados foram: a existência de microrganismos indicadores resistentes aprisionados em sólidos em suspensão que sobreviveram à desinfecção, e a oxidação de compostos orgânicos complexos de baixo peso molecular, os quais são metabolicamente mais acessíveis para as bactérias sobreviventes.

Por sua vez, Oenning (2006) constatou que o dióxido de cloro apresentou a menor eficiência entre as tecnologias testadas em sua pesquisa. O tratamento com ClO_2 também foi efetivo na remoção de coliformes totais, coliformes termotolerantes e cor, no entanto a cor não alcançou plenamente os níveis para reúso. DBO e pH também reduziram, no entanto, em menores proporções. Outros parâmetros não atenderam as diretrizes de reúso, inviabilizando assim a utilização do efluente nos locais propostos na pesquisa do autor.

2.5.5.2 Ozônio (O_3)

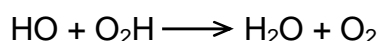
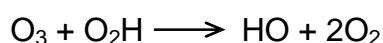
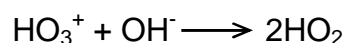
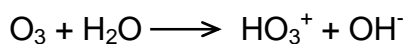
O ozônio (O_3) é um gás instável, incolor, parcialmente solúvel em água, com forte odor, detectável em concentrações muito baixas (0,01 a 0,05 mg.L^{-1}) e que evapora à temperatura de -112°C , à pressão atmosférica (GONÇALVES *et al.*, 2003; TELLES *et al.*, 2010).

É um agente oxidante bastante reativo e altamente bactericida e virucida, exigindo um tempo de contato pequeno (TELLES *et al.*, 2010). O mecanismo de desinfecção do O₃ contempla a destruição parcial ou total da parede celular promovendo o rompimento de células.

Nos sistemas de tratamento de efluentes domésticos a aplicação do O₃ ocorre através da dispersão do gás no líquido, uma das formas é a difusão de ar ozonizado (VON SPERLING, 2005).

Di Bernardo e Dantas (2005) comentam da importância em prever a existência de máscara protetora para os olhos, boca e nariz, luvas especiais e roupas apropriadas.

Cavalcanti (2009) descreve a química do ozônio pelas seguintes reações de decomposição:



Daniel *et al.* (2001) relatam que a alcalinidade e o pH interferem na eficiência de tratamento com ozônio. Quando aplicado, o O₃ reage com vários tipos de contaminantes químicos, além de desativar bactérias, fungos, vírus e outros microorganismos (CAVALCANTI, 2009).

Chemicaro *et al.* (2001) citam que a presença de compostos orgânicos ou minerais que reagem com o ozônio reduzem sua estabilidade. Porém, determinados compostos estabilizam o O₃ na água, reagindo e inativando os radicais hidroxila, iniciadores do ciclo de decomposição do ozônio. Os principais inibidores da decomposição do ozônio são os íons carbonato e bicarbonato.

O ozônio é um dos melhores desinfetantes que atuam como oxidantes em tratamento de águas de abastecimento. Gonçalves *et al.* (2003) cita que o poder desinfetante do ozônio é cerca de dez vezes superior ao do cloro, para todos os tipos de microrganismos. A desinfecção com O₃ é eficaz contra esporos e cistos que são as formas mais resistentes. O alto poder de oxidação do ozônio confere maior eficiência na remoção de vírus e bactérias, além de não formar compostos organoclorados, como os trihalometanos (CAVALCANTI, 2009).

Na TABELA 18 é possível visualizar a eficiência de remoção de poluentes quando aplicado o ozônio.

TABELA 18 - EFICIÊNCIA DE OXIDAÇÃO COM OZÔNIO

PARÂMETROS	REMOÇÃO (%)
Bactérias	> 99,9
Cor	56 - 65
DBO	30 - 50
Detergente	60 - 80
DQO	40 - 60
Fenóis	> 99,9
Organismos patogênicos	99,9
Trihalometanos	10 - 98
Turbidez	60 - 67
Vírus	> 99,9

FONTE: MUSTAFÁ (1998).

A combinação de O_3 com outros agentes oxidantes, como peróxido de hidrogênio, p. ex., promove o tratamento de parâmetros como fenóis, corantes, DQO e recalcitrantes em geral (CAVALCANTI, 2009).

Como citado o ozônio é um excelente desinfetante e oxidante, porém pode ser potencialmente perigoso, pois assim como o ClO_2 , o O_3 produz uma série de subprodutos orgânicos diferentes daqueles que chegam na água a ser tratada. De fato, a matéria orgânica fica numa forma mais biodegradável depois do tratamento com ozônio, essa ocorrência deve ser levada em consideração quando da utilização de O_3 . As águas que contém brometo reagem ao tratamento, produzindo compostos bromados potencialmente perigosos (CHEMICARO *et al.*, 2001).

Oenning (2006) em seu estudo sobre avaliação de tecnologias avançadas para o reúso de água em indústria metal-mecânica, concluiu que a ozonização apresentou tratamento satisfatório apenas quando levado em consideração o teste com efluente filtrado. Foi possível também confirmar a tradicional eficiência da ozonização na desinfecção dos coliformes termotolerantes e totais do efluente e também na oxidação da cor que sofreu redução.

Wert *et al.* (2007) analisaram a formação de subprodutos de oxidação a partir de ozonização e os resultados mostraram que o O_3 combinado com H_2O_2 produziu maiores concentrações de carbono orgânico, aldeídos e ácidos carboxílicos em comparação com o O_3 sozinho, indicando que a formação de subprodutos é em grande parte dependente da exposição radical hidroxila.

2.5.5.3 Peróxido de Hidrogênio (H₂O₂)

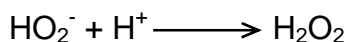
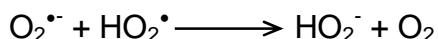
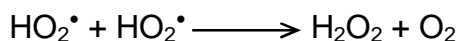
O peróxido de hidrogênio (H₂O₂) é um excelente agente oxidante capaz de degradar matéria orgânica (SANTOS, 2007). O H₂O₂ é um forte oxidante, superior ao cloro e ao dióxido de cloro. Muito utilizado no branqueamento de papel, na indústria têxtil, alimentos, petroquímica, eletrônica, metalúrgica, produção de energia e no tratamento de água potável. Também tem performance satisfatória na remediação de solos contaminados e no tratamento de efluentes contendo substâncias perigosas. Para remoção de odor, oxidação de metais, compostos orgânicos e inorgânicos pode ser empregado isolado ou combinado com outros oxidantes (TEIXEIRA e JARDIM, 2004).

Di Bernardo e Dantas (2005) citam que o armazenamento do peróxido de hidrogênio deve ocorrer em local seguro e seco, além disso deve-se evitar a inalação e contato com a pele.

Cavalcanti (2009) aponta algumas características do peróxido de hidrogênio:

- Miscível totalmente em água;
- Elevado potencial redox;
- Ação microbocida e algicida;
- Não gera subprodutos;
- Não é persistente no meio ambiente, decompõe-se espontaneamente.

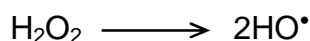
A seguir são apresentadas as reações de formação do peróxido de hidrogênio, segundo Teixeira e Jardim (2004):



O processo que combina peróxido de hidrogênio com radiação ultravioleta é um dos processos oxidativos avançados utilizados com êxito na remoção de contaminantes presentes em águas e efluentes, sendo muito mais eficiente do que o

uso de cada um deles separadamente, devido a maior produção de radicais hidroxil ($\cdot\text{OH}$) (TELLES *et al.*, 2010).

Neste caso há a quebra da molécula em radicais hidroxila ($2\text{HO}\cdot$) para cada molécula de H_2O_2 , conforme reação a seguir (Teixeira e Jardim, 2004):



No QUADRO 13 são apresentadas as principais vantagens e desvantagens dos principais agentes desinfetantes como cloro, dióxido de cloro, radiação UV, peróxido de hidrogênio, ozônio e do adsorvente carvão ativado.

AGENTE DESINFETANTE	VANTAGEM	DESVANTAGEM
Cloro	<ul style="list-style-type: none"> - Remoção da cor e odor - Oxida certos compostos orgânicos e inorgânicos - Efetivo biocida - Método fácil, barato e conhecido - Relativamente segura a utilização na forma de hipoclorito de sódio e cálcio - Inativação eficaz de grande variedade de patogênicos - Tecnologia amplamente conhecida 	<ul style="list-style-type: none"> - Potencial formação de subprodutos - Baixa inativação de esporos, cistos, alguns vírus - Caso necessária, a descloração pode aumentar os custos entre 20 % a 30% - O Cl gasoso é perigoso e corrosivo - O hipoclorito de sódio degrada com o tempo e a luz - A cloração é menos efetiva com pH elevado - Todas as formas de cloro são altamente corrosivas e tóxicas - Em determinadas situações são necessárias altas dosagens, o que acaba encarecendo o processo
Dióxido de cloro	<ul style="list-style-type: none"> - Mais eficaz que o cloro, inclusive na inativação de bactérias, vírus e protozoários - Pode facilitar o processo de clarificação - Sob condições controladas de produção (sem excesso de cloro), não se formam subprodutos halogenados, como os trihalometanos - Produção fácil - Propriedades biocidas não são influenciadas pelo pH da água - Garante uma ação desinfetante residual - Alta solubilidade em água (10x mais que o cloro) - É estável em solução diluída em recipientes fechados - Melhora a coagulação química - Não há corrosão em alta concentração - Baixo tempo de contato - Oxida o ferro, manganês, sulfetos e a amônia 	<ul style="list-style-type: none"> - Forma subprodutos: cloritos e cloratos - A eficiência do gerador do dióxido de cloro e a dificuldade na sua otimização podem conduzir a uma excesso de cloro, o qual pode ser aplicado à água e formar subprodutos halogenados - Não pode ser comprimido ou armazenado como um gás, pois é explosivo sob pressão. Por isso, ele nunca é expedido ou comercializado na forma gasosa, devendo ser gerado <i>in loco</i> - O custo de produção é elevado, tanto em instalação quanto em manutenção - É fotossensível - Em alguns sistemas pode dar origem à formação de cheiros desagradáveis - Não remove amônia
Radiação UV	<ul style="list-style-type: none"> - Facilidade de operação e segurança - Baixo tempo de contato - Redução dos riscos de formação de 	<ul style="list-style-type: none"> - Interferência de sólidos suspensos que absorvem a luz e espalham a

AGENTE DESINFETANTE	VANTAGEM	DESVANTAGEM
	<p>compostos organoclorados, e por consequência não gera subprodutos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Processo de tratamento imediato, não necessita de tanques de estocagem ou longos períodos de retenção - Bastante econômico - Não há formação de trihalometanos - Não altera sabor ou odor na água - Operação automática, sem necessidade de medições constantes - Compatível com qualquer outro processo de tratamento de água, como osmose reversa, filtração, outros - Menos demanda de espaço quando comparado a outros processos 	<p>radiação.</p> <ul style="list-style-type: none"> - A aplicação é limitada a efluentes secundários ou terciários. - Os tubos das lâmpadas precisam ser periodicamente limpos, por acumulação de limo e matéria graxa.
Peróxido de Hidrogênio	<ul style="list-style-type: none"> - Alto poder de oxidação - Pode combinar com outros processos como UV e O₃ - Ação microbiocida e algicida - Não introduz elementos contaminantes na água tratada - Evita a formação de organoclorados - Estocagem, manuseio e dosagem mais seguros - Não agregam íons cloreto à água, isso evita a salinização 	<ul style="list-style-type: none"> - Interferência de sólidos suspensos - Alto custo - Pode requerer grandes quantidades
Ozônio	<ul style="list-style-type: none"> - Remoção de certas substâncias orgânicas não biodegradáveis - Aumenta o oxigênio dissolvido no efluente tratado - Desintegração de fenóis - Oxidação da matéria orgânica, produzindo ozonidas e CO₂ - Redução de teores de ferro e manganês - Alveijamento e melhoria da cor - É gerado <i>in situ</i>, com fácil armazenamento e manuseio - Mais efetivo na destruição de bactérias e vírus, quando comparado ao cloro - Não sofre influência do pH - Não há formação de trihalometanos 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto custo - É quimicamente instável, se decompondo em oxigênio muito rapidamente após sua geração - Reage com halogênios formando compostos tóxicos (bromatos) - Não remove amônia - Os residuais de ozônio podem ser severamente tóxicos à vida marinha - É muito reativo e corrosivo, requerendo material resistente - É extremamente irritante e possivelmente tóxico, devendo-se evitar a exposição. - Tecnologia mais complexa quando comparada ao Cl e UV - Não é econômico para esgotos com altos SS, DBO e DQO
Carvão Ativo	<ul style="list-style-type: none"> - Remove cor, sabor, odor, matéria orgânica e alguns sais - A concentração de muitos contaminantes pode ser reduzida a valores de 1 mg.L⁻¹ à 10 mg.L⁻¹ - É efetivo na remoção de compostos orgânicos que não podem ser removidos por processos biológicos - Pode ser reativado para reúso 	<ul style="list-style-type: none"> - Tempo de vida curto - Alto custo - Não remove amônia - Sólidos em suspensão, óleos e graxas podem reduzir a eficiência do processo. - O carvão exaurido, caso não seja regenerado, pode trazer problemas na destinação final

QUADRO 13 - AGENTES DESINFETANTES E SUAS VANTAGENS E DESVANTAGENS

FONTE: IDAHO (1992) *apud* MIERZWA (2002), GONÇALVES *et al.* (2003), NUVOLARI (2003) *apud* TELLES *et al.* (2010), DANIEL *et al.* (2001), OLIVEIRA (2003), VON SPERLING (2005), SANTOS (2007), CAVALCANTI (2009), RICHTER (2009), NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (2012).

No QUADRO 14, são comparadas algumas técnicas de tratamento de desinfecção considerando suas características técnicas e econômicas, segundo Telles *et al.* (2010).

CRITÉRIO	CLORAÇÃO/DESCLORAÇÃO	RADIAÇÃO UV	O ₃	MF	UF
Segurança	+	+++	++	+++	+++
Remoção de bactérias	++	++	++	+++	+++
Remoção de vírus	+	+	++	+	+++
Residual tóxico	+++	-	+	-	-
Custos operacionais	+	+	++	+++	+++
Custos de investimento	++	++	+++	+++	+++
- nenhum, + baixo, ++ médio, +++ alto					

QUADRO 14 - COMPARAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICO-ECONÔMICAS DE TECNOLOGIAS DE DESINFECÇÃO

FONTE: LAZAROVA, (1999), OLIVEIRA (2003).

No estudo sobre o potencial para a expansão da oferta de água através da reutilização de águas residuais municipais, realizado pela *National Academy of Sciences* (2012), são descritos processos de tratamento e eficiências de remoção (de baixa e alta) de parâmetros significativos para a recuperação da água, as informações estão expostas no QUADRO 15.

PROCESSO	PARÂMETROS							
	PROTOZOÁRIO	BACTÉRIA	VÍRUS	NITRATO	SDT	EXIGÊNCIAS DE ENERGIA	RESIDUAL	CUSTO
Filtração	moderada	moderada	baixa	nenhum	nenhum	baixa	baixo	baixo
PAC/GAC	baixa	baixa	baixa	nenhum	nenhum	baixa	baixo	moderado
MF/UF	alta	moderada	baixa	nenhum	nenhum	moderada	baixo	moderado
NF/RO	alta	alta	alta	alta	alta	alta	alto	alto
Cl	moderada	alta	alta	nenhum	nenhum	baixa	nenhum	baixo
O ₃	moderada	alta	alta	nenhum	nenhum	alta	nenhum	alto
UV	alta	alta	moderada	nenhum	nenhum	moderada	nenhum	baixo
UV/H ₂ O ₂	alta	alta	alta	nenhum	nenhum	alta	nenhum	alto

NOTA: *os valores qualitativos apresentados refletem o consenso com melhor julgamento profissional do Comitê de avaliação da *National Academy of Sciences*.

QUADRO 15 - PROCESSOS DE TRATAMENTO E EFICIÊNCIAS DE REMOVER CONSTITUINTES DE PREOCUPAÇÃO DURANTE RECUPERAÇÃO DE ÁGUA

FONTE: NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (2012), modificado pela autora (2013)

Através dos QUADROS 14 e 15 é possível averiguar algumas das principais características de determinados tipos de tratamento, bem como fazer uma estimativa de definição melhor tratamento para produção de água de reúso.

No QUADRO 15 verifica-se que a combinação de nanofiltração e osmose reversa, apesar de ter alto custo de investimento, apresenta eficiência de remoção muito satisfatória para todos os parâmetros analisados, a mesma observação

também vale para o tratamento com membranas de ultrafiltração, citado no QUADRO 14.

Para tanto, na escolha da melhor alternativa deve ser avaliada a qualidade requerida da água para reúso, características da água residuária a ser tratada, eficiência do tratamento, residual tóxico, custos envolvidos, as vantagens e desvantagens das técnicas de tratamento.

3 METODOLOGIA

A metodologia empregada na presente pesquisa tem caráter investigativo e analítico, permitindo a identificação de possibilidades de reúso não potável de efluentes líquidos tratados na ETE em estudo com aproveitamento em pólo industrial situado na região sul do Brasil.

Os métodos aplicados na pesquisa são ilustrados na FIGURA 7 e descritas na sequência.



FIGURA 7 - FLUXO METODOLÓGICO EMPREGADO NA PESQUISA
Fonte: autora (2013)

3.1 COMPOSIÇÃO DO INVENTÁRIO DE INDÚSTRIAS E DEMANDAS HÍDRICAS

A área objeto de estudo inclui um distrito industrial localizado no município de Curitiba, capital do Estado do Paraná, região sul do Brasil.

Esse distrito foi criado ainda na década de 1970, contemplando indústrias de diversos ramos de atividade, tais como: automotivo, químico, têxtil, alimentos, metalurgia, energia e gás, eletroeletrônicos e telecomunicações, máquinas e equipamentos, transportes e logística, madeira e reflorestamento, reciclagem e produção de papel, entre outros.

É importante ressaltar que o distrito industrial também se estende para o município de Araucária, na região metropolitana de Curitiba (RMC).

Para identificar os setores industriais com potencial para consumo de água de reúso, eventualmente produzida na ETE objeto de estudo, foram compilados dados com o objetivo de estabelecer um inventário de demandas hídricas tendo como premissa os seguintes critérios:

- Proximidade dos consumidores industriais em relação a ETE em estudo, considerando inicialmente um raio de até aproximadamente 10 km da ETE. Partindo-se do ponto de lançamento do efluente final da ETE adotou-se raios (r) da ordem de 3 km, 5 km e 10 km para avaliação pormenorizada.
- Volume de água de abastecimento público fornecida para consumidores industriais. Consumos individuais inferiores a 400 m³/mês foram desconsiderados no inventário.
- Volume de águas subterrâneas explorado através de captações privadas por consumidores industriais. Captações individuais inferiores a 1,8 m³/h foram desconsiderados no inventário. O consumo mínimo adotado por usuário industrial foi de 70% da vazão total outorgada.

A compilação do inventário foi desenvolvida através das seguintes fontes de dados:

- Cadastro das indústrias da Federação das Indústrias do Paraná (FIEP, 2013). A partir do cadastro extraiu-se dados como segmento industrial, número de funcionários, endereço e dados de contato;
- Banco de dados de Outorgas de direito de uso de recursos hídricos de autoria do Instituto das Águas do Paraná. Deste banco de dados foram consultadas as vazões outorgadas para captação por poço e captação de águas superficiais para consumidores industriais;
- Base de dados de consumidores de águas de abastecimento público e industrial da Companhia de Saneamento Local (CSL). Desta base foram estudadas as médias mensais de volumes de água fornecida ($\text{m}^3/\text{mês}$) pela concessionária local para consumidores industriais;
- A partir das informações obtidas nestes bancos de dados, devidamente cruzadas e ratificadas, definiu-se um universo de 82 registros industriais para a área em estudo.
- Levantamento individual efetuado junto a consumidores industriais em potencial, por meio de questionário (APÊNDICE I). Com a pesquisa dirigida foram exploradas informações como a origem da água e os seus principais usos na planta industrial. Em relação ao consumo de água, o questionário basicamente abordou os seguintes aspectos:
 - a. Volume total consumido ($\text{m}^3/\text{mês}$);
 - b. Volume consumido nas diversas atividades industriais ($\text{m}^3/\text{mês}$);
 - c. Origem da água (abastecimento público, captações subterrâneas e/ou superficiais);
 - d. Recirculações internas;
 - e. Eventuais sistemas internos de tratamento de água.

Para o levantamento foram encaminhados questionários às 82 indústrias inventariadas e adotada uma amostragem com base nos mais relevantes segmentos industriais inventariados, em termos de consumo de água. Isto é, para cada

segmento considerou-se o retorno de pelo menos 50% de questionários encaminhados às indústrias.

3.2 REQUISITOS DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA ATIVIDADES INDUSTRIAIS

Foi efetuado um levantamento dos requisitos de qualidade de água a partir de literatura especializada para diferentes segmentos industriais, visando identificar o grau de qualidade requerido para uso de água em processos produtivos e atividades industriais inventariadas.

De posse desses dados realizou-se a comparação da qualidade do efluente tratado atualmente na ETE. Para tanto, foi estabelecido um critério mínimo de qualidade para a água de reúso nas atividades industriais identificadas como maiores consumidoras de água.

O critério adotado analisou as particularidades dessas atividades industriais que demandam maiores volumes de água.

Os requisitos de qualidade citados neste item podem ser consultados no capítulo de revisão de literatura.

3.3 PROPOSTA DE TRATAMENTO PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO

Os passos metodológicos para a elaboração da proposta de tratamento para produção de água de reúso a partir de efluente doméstico tratado na ETE, estão descritos a seguir.

3.3.1 Descrição da Estação de Tratamento de Esgoto

A Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) objeto do presente estudo situa-se próxima a um distrito industrial do município de Curitiba, região sul do Brasil (FIGURA 8).

Na circunvizinhança da ETE concentram-se diversas indústrias dos mais variados ramos de atividade.

A FIGURA 8 traz a localização geográfica da ETE.



FIGURA 8 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ETE OBJETO DE ESTUDO
FONTE: IPARDES (2013), GOOGLE (2013), modificado pela autora (2013)

O esgoto *in natura* (afluente) é encaminhado a ETE por meio de uma Estação Elevatória de Esgoto Bruto (EEE).

A seguir na FIGURA 9 são ilustradas e nomeadas as etapas do processo de tratamento de efluentes.



NOTA:

- (01) Escritório administrativo
- (02) Estação elevatória de esgoto (EEE)
- (03) Gradeamento
- (04) Desarenador
- (05) Caixa de distribuição para os reatores
- (06) Reatores anaeróbios
- (07) Lagoa de estabilização
- (08) Armazenamento e secagem de lodo
- (09) Desidratação do lodo
- (10) Adensador de lodo

FIGURA 9 - IDENTIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES E UNIDADES DE TRATAMENTO DA ETE

FONTE: autora (2013)

Inicialmente, o afluente é submetido ao tratamento preliminar que tem por propósito a remoção de areia e outros sólidos grosseiros. De modo geral, esta etapa preliminar de tratamento retrata uma medida de proteção para equipamentos e instalações hidráulicas, tais como: bombas, tubulações e as unidades de tratamento subsequentes, evitando a abrasão e a obstrução de orifícios, tubulações e outros dispositivos.

Os mecanismos de tratamento são fundamentalmente de ordem física e incluem as seguintes unidades:

- Gradeamento manual, que promove a separação de sólidos grosseiros;
- Desarenação, que tem por fim sedimentar partículas de areia, retidas no fundo da caixa de areia (desarenador).

Os resíduos removidos no gradeamento e no desarenador são acondicionados em caçambas estacionárias do tipo *brooks* para posterior disposição em aterro sanitário. Ainda nesta etapa inclui-se uma unidade para a medição da vazão afluente (calha *parshall*).

As FIGURAS 10 e 11 ilustram o sistema de gradeamento da ETE.



FIGURA 10 - SISTEMA DE GRADEAMENTO
FONTE: autora (2012)



FIGURA 11 - SISTEMA DE GRADEAMENTO
FONTE: autora (2012)

Na sequência, o efluente do tratamento preliminar segue imediatamente para o tratamento secundário², etapa esta que se destina a remoção de matéria orgânica dissolvida e em suspensão.

Os principais mecanismos de tratamento são de ordem biológica e incluem as unidades a seguir indicadas:

- Caixa de distribuição para os reatores biológicos, que direciona o efluente do tratamento preliminar em vazões controladas aos reatores anaeróbios.
- Reatores anaeróbios de fluxo ascendente, em que uma parcela da matéria orgânica é submetida aos processos de degradação anaeróbica.

² A ETE não possui tratamento em nível primário.

- Caixa de distribuição para a lagoa de estabilização, que recebe os efluentes dos reatores anaeróbios e os redireciona até a lagoa anaeróbia.
- Lagoa de estabilização (FIGURA 13), com tempo de detenção hidráulica projetado em 3,5 dias e as seguintes dimensões: 3,5 m de profundidade e uma relação comprimento/largura de 4:1 (fundo da lagoa).

Na FIGURA 12 são ilustradas as caçambas para coleta de resíduos sólidos, e mais ao fundo é possível observar os galpões de armazenamento e secagem de lodo. Na FIGURA 13 tem-se a vista geral da lagoa de estabilização.



FIGURA 12 - SISTEMA DE ESCOAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E CAÇAMBAS DO TIPO *BROOKS*

FONTE: autora (2012)



FIGURA 13 - VISTA GERAL DA LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO

FONTE: autora (2012)

A fase líquida do processo de tratamento de efluentes se encerra com o lançamento do efluente final da lagoa de estabilização no corpo hídrico receptor. Para a fase sólida, a ETE detém unidades de desidratação e adensamento de lodo e local para seu armazenamento temporário.

3.3.1 Caracterização do afluente e efluente da Estação de Tratamento de Esgoto

Foi efetuada uma leitura analítica de documentos e registros com a finalidade de compreender os métodos, níveis e processos atualmente empregados no tratamento de efluentes líquidos na ETE objeto de estudo, tais como:

- Projeto básico da ETE (memorial descritivo, desenhos e especificações técnicas);
- Manual de operação e manutenção de equipamentos e instalações da ETE;
- Registros de medições e resultados laboratoriais, relacionados ao controle operacional e ao monitoramento ambiental da ETE, abrangendo os anos de 2011 e 2012.

Através dos registros de medições e resultados laboratoriais chegou-se aos parâmetros analisados no afluente (esgoto bruto) e efluente (pós tratamento). Desta forma, foi possível verificar as médias mensais de qualidade dos parâmetros supracitados, bem como as vazões ($L.s^{-1}$) e volumes mensais ($m^3/mês$) de efluentes tratados na ETE.

A documentação elencada foi obtida junto a concessionária de abastecimento local. Foram ainda empreendidas 02 inspeções de campo na ETE em estudo com o intuito de observar o arranjo geral das instalações e das unidades de tratamento, bem como identificar melhorias e adaptações possíveis ao tratamento existente.

3.3.2 Alternativas para recuperação de água

A partir da caracterização da ETE e com base no grau de qualidade requerido para uso de água industrial, foi realizada pesquisa bibliográfica contemplando tecnologias de tratamento avançado de efluentes líquidos com vistas ao aprimoramento dos níveis e processos de tratamento de efluentes da ETE em estudo.

Desta forma, foram propostas três alternativas de tratamento de efluentes líquidos, considerando as peculiaridades da ETE.

O estabelecimento das alternativas considerou algumas premissas, a saber:

- Aproveitamento das unidades de tratamento preexistentes, quando possível;

- Melhoramento do sistema atual de tratamento preliminar, incorporando-se a remoção de espuma e de materiais flutuantes previamente ao ingresso de efluente nos reatores anaeróbios, visando aumento da eficiência de remoção de matéria orgânica;
- Isenção de unidade de pré desinfecção, reduzindo desta forma a formação de subprodutos tóxicos.

3.4 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REÚSO INDUSTRIAL DE EFLUENTES TRATADOS NA ETE

A avaliação do potencial de reúso de efluentes tratados em indústrias teve como propósitos a estimativa do potencial de reuso e a estimativa de custos com águas de abastecimento comparada aos custos com água de reuso.

3.4.1 Estimativa do potencial de reuso de água

Para a estimativa do potencial de demandas de água de reúso foram excluídas, de forma conservadora, as necessidades por águas de melhor qualidade de consumidores industriais, em especial águas que são incorporadas ao produto final quando este é destinado ao uso direto ou consumo humano.

A água potável para consumo humano também objeto de exclusão e foi estimada a partir de indicadores de consumo ($\text{m}^3/\text{empregado.dia}$) frente ao número de empregados de cada indústria inventariada.

Para as estimativas de consumo humano de água na indústria utilizou-se o indicador de consumo por empregado, tendo sido adotado neste trabalho o valor de 75 L/empregado.dia extraído de Metcalf e Eddy (2002 *apud* TSUTIYA, 2006).

Para o cálculo do potencial de produção de água de reúso fez-se uso da EQUAÇÃO 1, a seguir detalhada:

$$P_{\text{reúso}} = (F_{\text{abast}} + F_{\text{águas sub}}) - (\text{Cons}_{\text{potável}} + \text{Cons}_{\text{águas nobres}}) \quad (\text{Eq. 1})$$

Na qual,

- $P_{\text{reúso}}$, potencial de água de reúso ($\text{m}^3/\text{mês}$);
- F_{abast} , volume mensal fornecido de águas de abastecimento público ($\text{m}^3/\text{mês}$);
- $F_{\text{águas sub}}$, volume mensal estimado de captação privada de águas subterrâneas ($\text{m}^3/\text{mês}$);
- $\text{Cons}_{\text{potável}}$, consumo mensal de água potável para consumo humano ($\text{m}^3/\text{mês}$);
- $\text{Cons}_{\text{águas nobres}}$, consumo mensal de segmentos específicos que necessitem de águas de melhor qualidade ($\text{m}^3/\text{mês}$).

3.4.2 Estimativa de custos com água de abastecimento e água de reuso

Para a comparação de custos de água de abastecimento público e água de reuso, foram utilizados os seguintes dados:

- Custos (R\$ 4,47/ m^3) por usuário industrial, por meio da tabela de tarifas de saneamento básico da Companhia de Saneamento Local;
- Custos (R\$ 0,94/ m^3) de fornecimento de água de reúso pela Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo (SABESP).

A comparação de custos foi estimada considerando volumes mensais de consumo ($\text{m}^3/\text{mês}$), por segmento industrial, de águas de abastecimento público, fornecida por concessionária local de saneamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. COMPOSIÇÃO DO INVENTÁRIO DE INDÚSTRIAS E DEMANDAS HÍDRICAS NO DISTRITO INDUSTRIAL

Nos itens descritos a seguir, seguem relacionadas as indústrias inventariadas, as respectivas demandas de águas de abastecimento público e águas subterrâneas, bem com a distribuição das indústrias nos distanciamentos (em km), em relação à ETE, definidos na metodologia desta pesquisa.

4.1.1 Distanciamento das indústrias inventariadas em relação à ETE

A FIGURA 14 apresenta os raios de distanciamento partindo do ponto central da ETE (ponto de lançamento do efluente tratado) e a indicação de alguns dos segmentos industriais localizados na circunvizinhança da ETE em estudo.

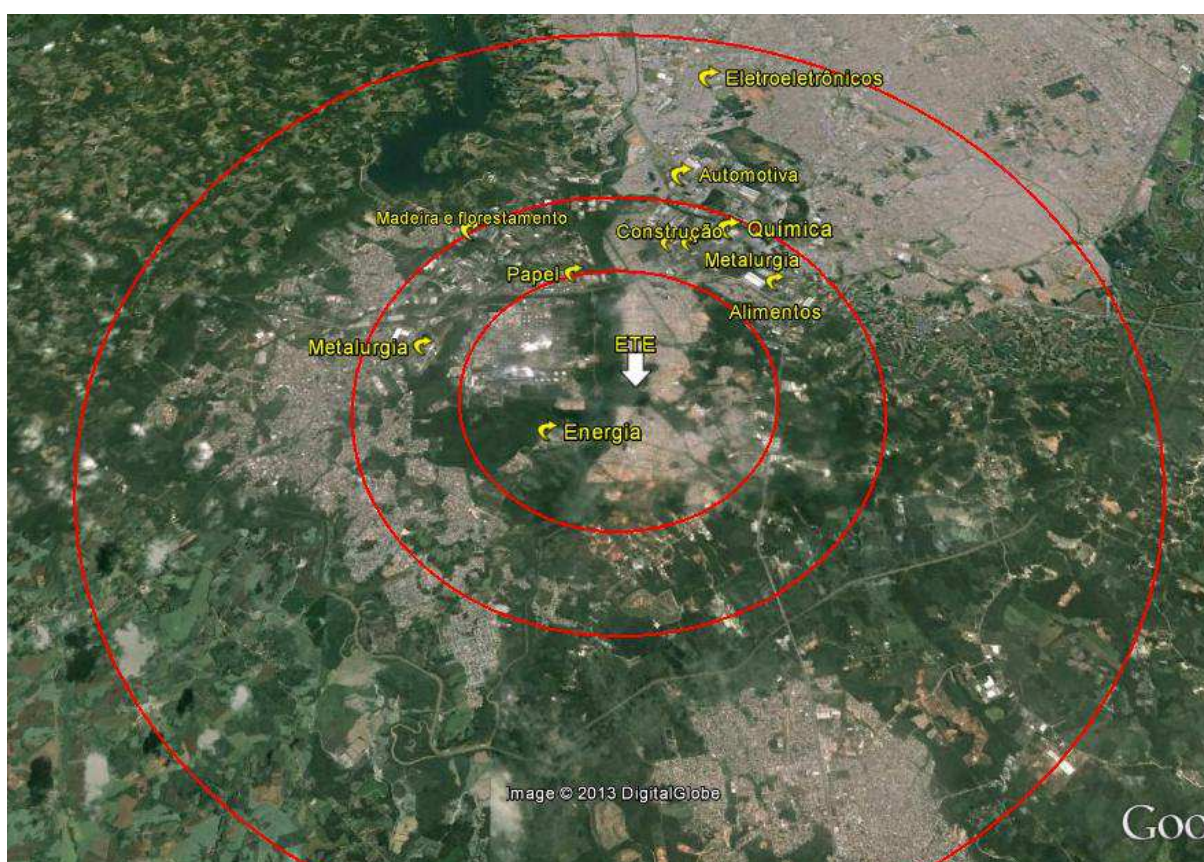


FIGURA 14 - VISTA AÉREA DA ETE COM DELIMITAÇÃO DOS RAIOS DE 3 km, 5 km E 10 km NO SEU ENTORNO E INDICAÇÃO DE ALGUNS SEGMENTOS INDUSTRIAIS DE REFERÊNCIA
FONTE: modificado de GOOGLE (2013)

Os segmentos industriais inventariados dividem-se em: alimentos, automotivo, comunicação, construção, eletroeletrônicos e telecomunicações, cosméticos e perfumaria, energia e gás, madeira e reflorestamento, máquinas e equipamentos, metalurgia, papel e papelão, química, têxtil, indústria de plásticos, e algumas empresas de transportes terrestres.

As indústrias inventariadas concentram-se em distâncias de até 10 km, sendo que o maior número ocorre com distâncias entre 5 e 10 km, correspondendo a mais de 50% do universo pesquisado.

O GRÁFICO 04 registra o número de indústrias dos diversos segmentos identificados no entorno da ETE, considerando o raio de até 10 km.

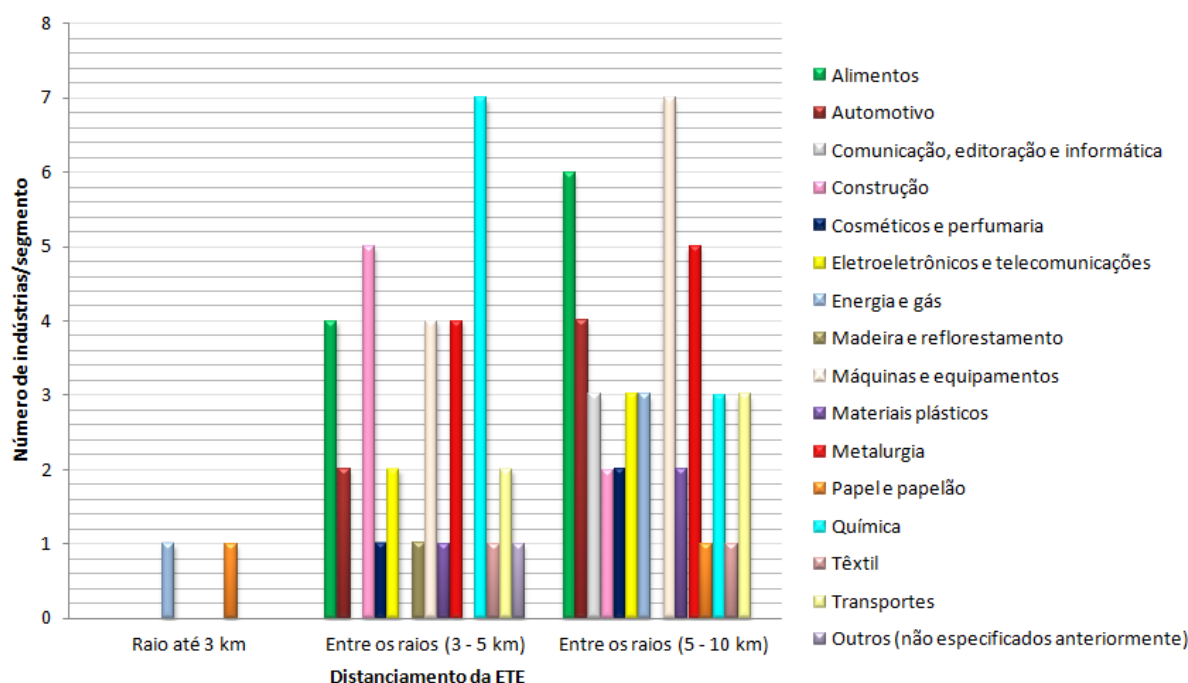


GRÁFICO 4 - DISTRIBUIÇÃO DAS INDÚSTRIAS NO ENTORNO DA ETE CONSIDERANDO OS RAIOS DE 3 km, 5 km E 10 km
FONTE: autora (2013)

Como há várias indústrias próximas entre si e da ETE, a implementação de um Programa de Conservação e Reúso de Água (PCRA) direcionado à reutilização de efluente tratado como água de reúso, pode se mostrar viável. Pois de acordo com o que foi visto na revisão de literatura, Mancuso e Santos (2003) indicam que sistemas de reúso de efluentes tratados podem apresentar viabilidade em casos em que uma concentração razoável de indústrias em um raio de aproximadamente 5 quilômetros no entorno de uma estação de tratamento. No caso estudado tem-se 45% das indústrias pesquisadas instaladas no raio de até 5 km em relação à ETE.

4.1.2 Fornecimento de águas de abastecimento público

Confrontando-se os dados da companhia de saneamento local com a área em estudo (raio de 10 km), pode-se perceber que os segmentos industriais de química, energia e gás são os principais responsáveis pelo consumo de águas de abastecimento público, juntos representam cerca de 70% do fornecimento pela concessionária local às indústrias da região, seguidos pelos setores de metalurgia e alimentos que somam pouco mais de 15% do total de água fornecido. Importante salientar, que os ramos industriais (química, energia e gás) com maiores demandas de água, estão localizados em um raio de até 5 km da ETE

Os ramos industriais com menores demandas de água são: construção, comunicação e informática, eletroeletrônicos, transportes, têxtil, cosméticos e perfumaria, papel e papelão e materiais plásticos, que juntos têm representatividade abaixo de 4% no recebimento de água de abastecimento público.

No GRÁFICO 5 é ilustrada a distribuição de água de abastecimento público entre os setores industriais localizados no entorno da ETE, conforme exposto na GRÁFICO 04.

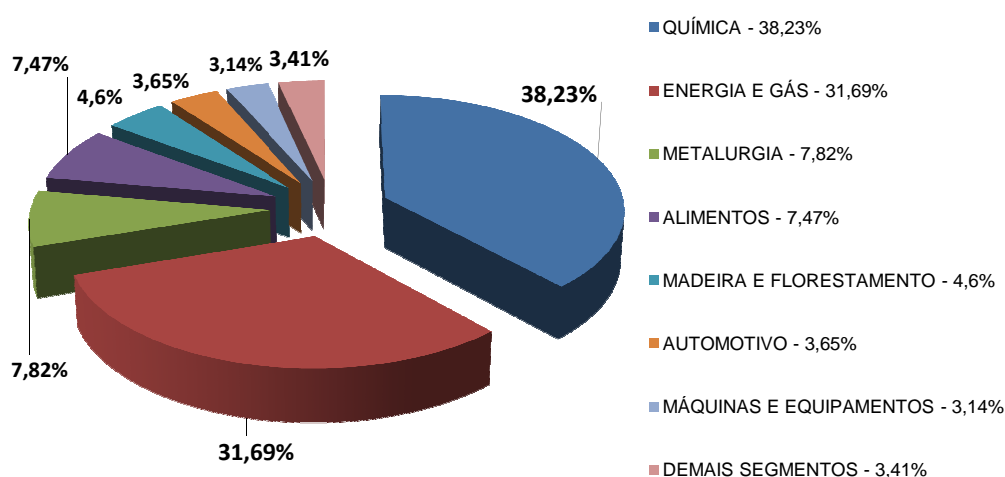


GRÁFICO 5 – DISTRIBUIÇÃO DO FORNECIMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO ENTRE OS DIVERSOS SEGMENTOS INDUSTRIAIS DA ÁREA EM ESTUDO, 2011-2012
FONTE: CLS (2013), modificado pela autora (2013)

O fornecimento de água de abastecimento público para as indústrias inventariadas apresenta uma média de 632.800 m³/mês (ano-base de 2012).

Cumprе ressaltar que uma parcela da água de abastecimento público não se refere à água potável, sendo proveniente de uma Estação de Tratamento de Água Industrial (ETAI).

A qualidade da água fornecida é cláusula contratual entre a companhia local de saneamento e os consumidores industriais abastecidos pela ETAI.

4.1.3 Outorgas para captações de águas subterrâneas

Com o acesso ao banco de dados de Outorgas de direito de uso de recursos hídricos do Instituto das Águas do Paraná e também por meio de consultas individuais dirigidas às indústrias inventariadas, notou-se que algumas indústrias possuem além do fornecimento de águas pela concessionária local de saneamento, fontes complementares de abastecimento de água, tais como: captações individuais de águas subterrâneas com o uso de poços particulares.

Também foi possível constatar que algumas indústrias não são abastecidas pela concessionária local de saneamento e, ao contrário, se valem de captações próprias como forma principal de abastecimento de água ou até mesmo de fornecimento de água realizado por outras indústrias.

No GRÁFICO 6 são mostrados os principais usuários do distrito industrial titulares de outorga de direito de uso de recursos hídricos, na modalidade de captação de águas subterrâneas (poço).

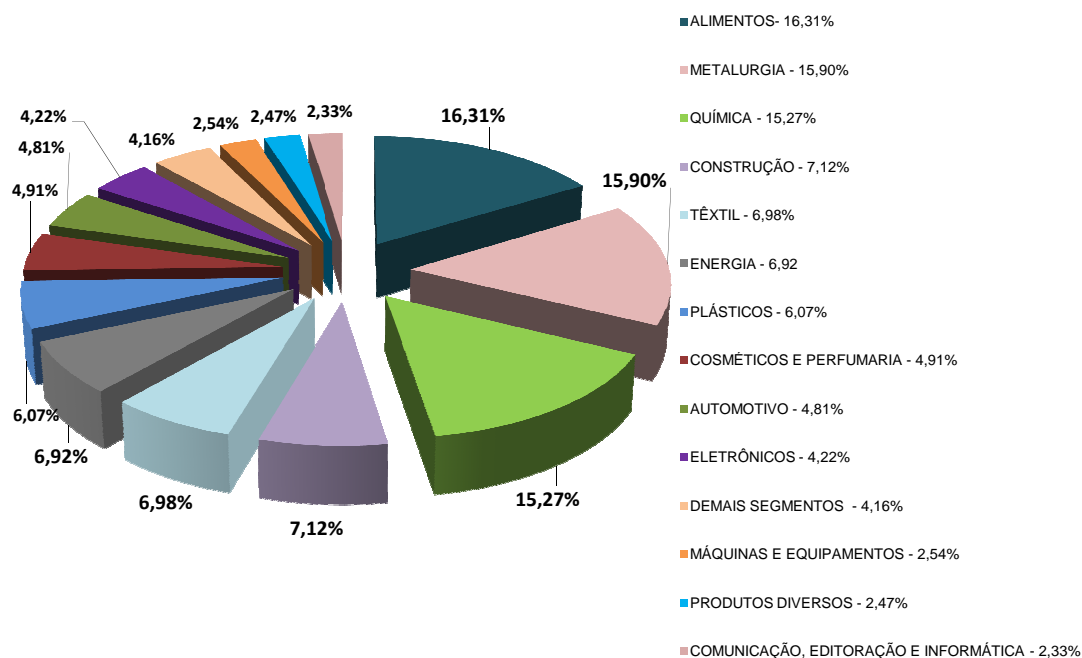


GRÁFICO 6 – DISTRIBUIÇÃO ENTRE OS SEGMENTOS INDUSTRIAIS DAS OUTORGAS PARA CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
 FONTE: INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ (2013), modificado pela autora (2013)

Observa-se no GRÁFICO 6 que os maiores percentuais de vazões outorgadas são requeridos pelas indústrias dos segmentos de alimentos, metalurgia e química, que somados correspondem quase 50% da vazão mensal total outorgada. Madeira e reflorestamento, papel e papelão e transportes são os três ramos de atividade que representam os menores percentuais de vazões outorgadas com valor inferior a 5% do total outorgado.

4.1.4 Distribuição interna de água nos segmentos industriais

Os principais usos de água na indústria foram obtidos a partir de levantamento com utilização de questionário dirigido às indústrias inventariadas

(APÊNDICE I). Os principais usos da água e suas demandas internas refletem o enfoque dado ao levantamento.

Conforme descrito no Capítulo Metodologia, o questionário foi encaminhado para pessoa de contato ou representante das 82 indústrias pesquisadas. Contudo, o retorno de questionários preenchidos foi de aproximadamente 50% do total encaminhado. Para alguns segmentos industriais obteve-se retorno de 100% dos questionários, enquanto que para outros nenhum questionário foi respondido. Essa ausência nas respostas pode se dar por diversos fatores, como por exemplo: falta de funcionários, a cultura ou política da empresa, ou mesmo esquecimento por quem recebeu.

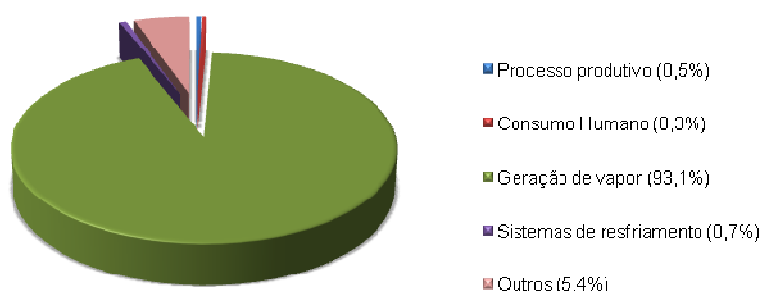
Considerou-se nesta pesquisa somente a indicação de consumo interno de água para aqueles segmentos em que se obteve pelo menos 50% de amostragem.

As demandas por usos de cada segmento podem ser verificadas no inventário de demandas (APÊNDICE II).

Nos GRÁFICOS 07, 08, 09 e 10 são ilustrados os principais usos de água nas indústrias objeto de estudo.

Os GRÁFICOS 07 registra que a geração de vapor é a atividade que requer maior demanda de água nos segmentos de energia.

DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO INTERNO DE ÁGUA



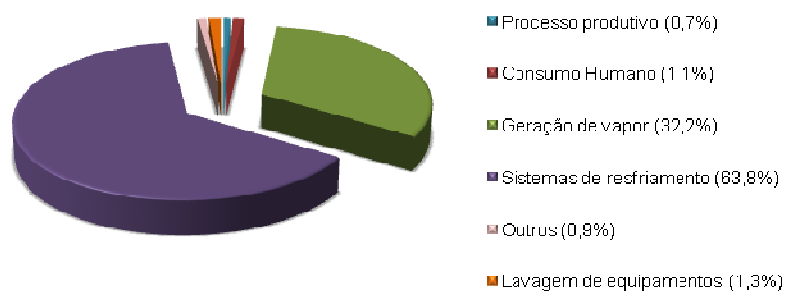
NOTA: * distribuição interna de água baseada em dados obtidos de 04 indústrias de um total de 04 do referido segmento industrial.

GRÁFICO 7 – PRINCIPAIS USOS DA ÁGUA NO SEGMENTO INDUSTRIAL DE ENERGIA E GÁS

FONTE: autora (2013)

Os GRÁFICOS 08 e 09 evidenciam que o uso da água para sistemas de resfriamento é predominante nas indústrias dos ramos de química e automotivo.

DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO INTERNO DE ÁGUA

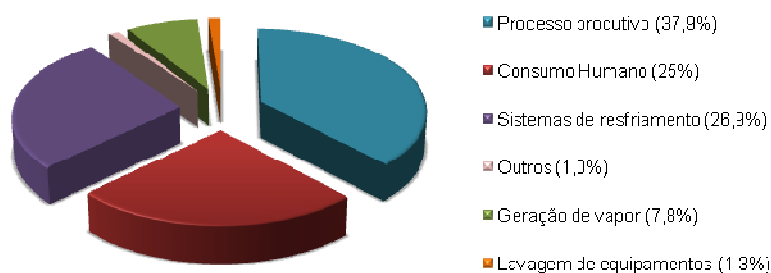


Nota: * distribuição interna de água baseada em dados obtidos de 05 indústrias de um total de 10 do referido segmento industrial.

GRÁFICO 8 – PRINCIPAIS USOS DE ÁGUA NO SEGMENTO DA INDÚSTRIA QUÍMICA E DERIVADOS

FONTE: autora (2013)

DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO INTERNO DE ÁGUA

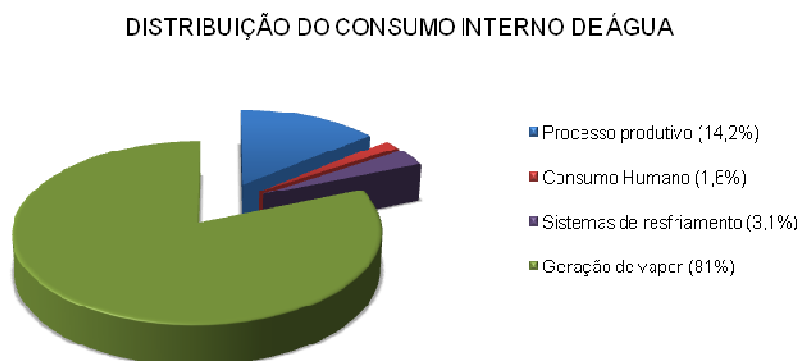


Nota: * distribuição interna de água baseada em dados obtidos de 04 indústrias de um total de 06 do referido segmento industrial.

GRÁFICO 9 – PRINCIPAIS USOS DE ÁGUA NO SEGMENTO DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

FONTE: autora (2013)

O GRÁFICO 10 registra que a geração de vapor é a atividade que requer maior demanda de água nos segmentos de energia.



Nota: * distribuição interna de água baseada em dados obtidos de 01 indústria de um total de 01 do referido segmento industrial.

GRÁFICO 10 – PRINCIPAIS USOS DE ÁGUA NO SEGMENTO DA INDÚSTRIA MADEIREIRA
 FONTE: autora (2013)

Conforme observado nos GRÁFICOS 07, 08, 09 e 10 os principais usos de água na indústria e, conseqüentemente, aqueles que demandam maiores volumes de água em relação as demais atividades, são os sistemas de resfriamento e de geração de vapor.

Considerando os registros obtidos com o levantamento individual, por meio dos questionários encaminhado às indústrias, constatou-se que as demandas de água para os sistemas de resfriamento e de geração de vapor, correspondem à 90 L.s⁻¹ e 124 L.s⁻¹, respectivamente.

Ambos os sistemas, de resfriamento e de geração de vapor, não requerem água potável e, portanto, são consideradas atividades com potencial de substituição de água potável por água de reúso, entretanto, na condição de que os requisitos mínimos de qualidade sejam respeitados para estes processos.

4.1.5 Consumo total de água pelas indústrias inventariadas

Na TABELA 19 estão expostos os volumes mensais de consumo de água de abastecimento público fornecido pela concessionária local de saneamento, volumes mensais estimados de captação de águas subterrâneas, volumes mensais estimados de derivação de águas superficiais para as indústrias inventariadas e por fim, o consumo total de água correspondente a cada segmento industrial.

TABELA 19 – CONSUMO TOTAL DE ÁGUA PELAS INDÚSTRIAS DA REGIÃO ESTUDADA

SEGMENTO INDUSTRIAL	MÉDIA MENSAL			CONSUMO TOTAL (m ³ /mês)
	FORNECIMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO (m ³ /mês)	ESTIMATIVA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA ⁽¹⁾ (m ³ /mês)	ESTIMATIVA DE DERIVAÇÃO DE ÁGUA SUPERFICIAL (m ³ /mês)	
Alimentos	47.259	23.569	-	70.828
Automotivo	23.070	6.944	-	30.014
Comunicação	4.329	3.360	-	7.689
Construção	5.472	10.283	-	15.755
Cosméticos e perfumaria	1.817	7.090	-	8.907
Eletroeletrônicos e telecomunicações	3.943	6.100	-	10.043
Energia e gás	200.562	14.284	-	214.846
Madeira e reflorestamento	29.103	2.268	-	31.371
Máquinas e equipamentos	19.857	3.700	-	23.557
Materiais plásticos	473	8.770	-	9.243
Metalurgia	49.490	23.020	-	72.510
Papel e papelão	1.839	1.470	-	3.309
Produtos diversos	-	3.570	-	3.570
Química	241.891	22.067	190.584	454.542
Têxtil	2.133	10.080	-	12.213
Transportes	2.312	2.268	1.090	5.670
Total	632.801	148.843	191.671	974.067

⁽¹⁾ Consumo mínimo adotado por usuário industrial = 70% da vazão total outorgada, conforme metodologia empregada.

FONTE: autora (2013)

Quando se compara o consumo de águas de abastecimento público e águas subterrâneas, observa-se que a maioria dos segmentos industriais requer maior demanda por águas de abastecimento público.

Em alguns casos, isso se deve ao fato de que a água de abastecimento público possui qualidade superior quando comparada à água subterrânea, enquanto que esta última na maioria das vezes requer tratamento para posterior utilização.

Além disso, muitas indústrias não possuem poços, o que inviabiliza a extração de águas subterrâneas.

Do consumo total de água computado em 974.067 m³/mês, exposto na TABELA 19, cerca de 70% está concentrado nos segmentos da indústria química e de energia.

No GRÁFICO 11 estão representados os ramos industriais com maiores consumos de água.

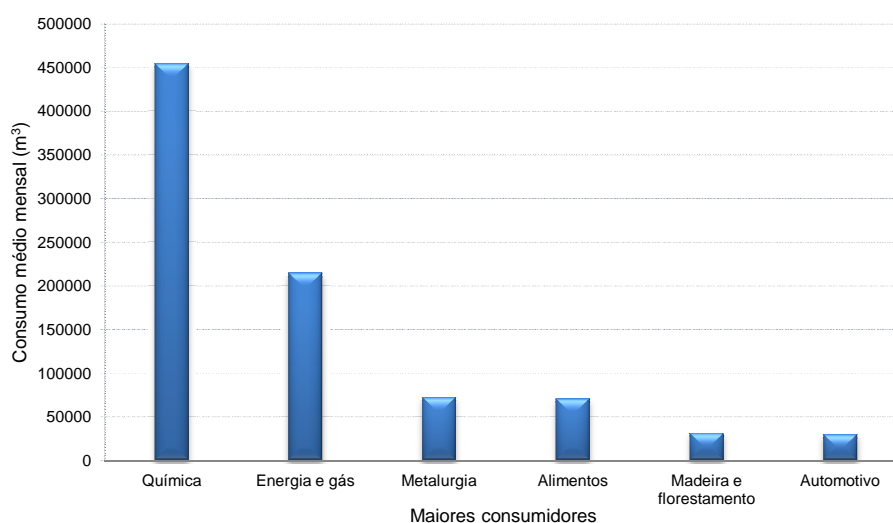


GRÁFICO 11 – SEGMENTOS INDUSTRIAIS COM MAIORES CONSUMO DE ÁGUA

FONTE: autora (2013)

Ainda que os maiores consumidores de água sejam os segmentos da indústria química e de energia, o setor de madeira apesar de ser representado por somente uma indústria localizada na região, possui um consumo de água bastante expressivo.

Vale lembrar que 50% das indústrias dos segmentos ilustrados no GRÁFICO 10 distam até 5 km de raio da ETE.

Existem indústrias localizadas dentro do raio de 10 km que não foram elencadas na pesquisa em função de se não enquadrarem no escopo metodológico ou simplesmente pela ausência de dados.

Há casos também em que a indústria mesmo que dentro dos critérios metodológicos, já possui um sistema interno de conservação de água e reúso de efluentes, como é o caso da Refinaria Presidente Getúlio Vargas (REPAR)

localizada no município de Araucária e que faz o reúso de efluentes tratados em sistemas de geração de vapor, torres de resfriamento e outras atividades industriais (BEZERRA, 2012). O caso da REPAR é um exemplo em particular que foi desconsiderado para o efeito da presente pesquisa, pelos motivos expostos.

4.2. COMPARACAO ENTRE OS REQUISITOS DE QUALIDADE DA AGUA PARA DETERMINADOS USOS INDUSTRIAIS E OS PADRÕES FORNECIDOS PELA ETE

Com a caracterização da ETE verificou-se a qualidade do efluente tratado, através dos dados disponíveis, ainda que estes sejam insuficientes para determinar minuciosamente a qualidade do efluente final da estação.

Analizando os dados compilados na TABELA 20 evidencia-se que o efluente gerado na ETE em estudo não cumpre com os requisitos de qualidade de águas para sistemas de resfriamento e também para geração de vapor, principais demandas identificadas com potencial para reúso industrial.

Considerando-se os requisitos de qualidade de água de resfriamento e de geração de vapor, que conforme descrito anteriormente são as atividades industriais que mais consomem água na indústria, constata-se a necessidade de tratamento avançado do efluente com o propósito principal de remoção de matéria orgânica, nutrientes e, possivelmente, de outros poluentes.

No caso sistemas de resfriamento e de geração de vapor, os usos possuem requisitos diferentes dependendo da aplicação ou sistema adotado pela indústria, tendo em vista isso os requisitos de qualidade da água seguidos foram de acordo com os seguintes itens:

- Sistemas de resfriamento: a qualidade da água varia em função do sistema operar em circuito aberto ou fechado, isto é, com e sem recirculação de água, para tanto adotou-se as duas referências para efeito comparativo com o efluente tratado na ETE.

- Geração de vapor: os requisitos de qualidade da água variam em função do intervalo de pressão, baixa, média e alta. Para tanto, foi considerado a alimentação de água em caldeiras de média pressão (10 - 50 bar).

TABELA 20 – COMPARATIVO ENTRE A QUALIDADE REQUERIDA PARA USO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA E A QUALIDADE DO EFLUENTE FINAL TRATADO NA ETE, CONSIDERANDO A CONFIGURAÇÃO ATUAL DE PROCESSO

PARÂMETRO	UNIDADE	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	GERAÇÃO DE VAPOR*	EFLUENTE FINAL TRATADO
pH	-	6,0 - 9,0 ⁽¹⁾	8,2 - 10,0 ⁽²⁾	7,06
DQO	mg.L ⁻¹	75 ⁽³⁾	5,0 ⁽²⁾	134,06
DBO ₅	mg.L ⁻¹	≤ 30** ⁽⁴⁾	-	61,67
Sólidos sedimentáveis	mg.L ⁻¹	-	-	0,11
Sólidos suspensos	mg.L ⁻¹	≤ 100*** ⁽⁵⁾	5,0 ⁽²⁾	25,16
Nitrogênio amoniacal	mg.L ⁻¹	1,0 ⁽⁶⁾	0,1 ⁽⁷⁾	45,36

NOTA: *os requisitos de qualidade de água adotados para geração de vapor se referem a alimentação de água em caldeiras de média pressão (10 - 50 bar). Requisitos de qualidade de água estipulados para diferentes condições de pressão podem ser consultados no capítulo de revisão de literatura. **cumprer ressaltar que GOLDSTEIN et al. (1979) apud USEPA (1992) indicam como limite recomendado para DBO uma concentração de até 25 mg.L⁻¹. ***os requisitos de sólidos suspensos indicados por METCALF e EDDY (2003) apud OENNING (2006) se referem a sistemas de resfriamento com recirculação.

⁽¹⁾ FONTE: GOLDSTEIN et al. (1979) apud USEPA (1992); USEPA (2004); USEPA (2012)

⁽²⁾ FONTE: USEPA (1980) apud USEPA (1992); CROOK (1996) apud MIERZWA (2002)

⁽³⁾ FONTE: WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1989) apud USEPA (1992); METCALF e EDDY (2003) apud OENNING (2006)

⁽⁴⁾ FONTE: GOLDSTEIN et al. (1979) apud USEPA (1992); USEPA (2004); USEPA (2012)

⁽⁵⁾ FONTE: WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1989) apud USEPA (1992); METCALF e EDDY (2003) apud OENNING (2006)

⁽⁶⁾ FONTE: GOLDSTEIN et al. (1979) apud USEPA (1992)

⁽⁷⁾ FONTE: CROOK (1996) apud MIERZWA (2002)

Os requisitos de qualidade para água utilizada em sistemas de resfriamento e geração de vapor são bastante restritivos quando comparados ao efluente tratado pela ETE atualmente.

Os parâmetros mais restritivos são DQO, DBO, sólidos suspensos e Nitrogênio amoniacal, em especial para a finalidade de geração de vapor.

Com as características atuais, o efluente final da ETE não poderia ser diretamente utilizado nos sistemas industriais mencionados, uma vez que uma série de problemas poderiam ser desencadeados, tais como: formação de espumas, crescimento biológico, corrosão, depósitos, dentre outros, conforme tratado na revisão de literatura.

4.3. PROPOSTA DE TRATAMENTO PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO

Conforme observado no item 4.2., a ETE na configuração atual fornece efluente com características incompatíveis com os requisitos de qualidade para determinados fins industriais, como sistemas de resfriamento e geração de vapor.

A proposta de tratamento tem por objetivo o melhoramento da qualidade do efluente tratado na ETE, e contemplam tecnologias de tratamento avançado de efluentes líquidos com vistas ao aprimoramento dos níveis e processos de tratamento de efluentes da ETE em estudo.

4.3.1. Caracterização do afluente e efluente da Estação de Tratamento de Esgoto

No itens descritos a seguir, estão descritas as características qualitativas e quantitativas do afluente recepcionado e efluente tratado na ETE.

4.3.1.1. Levantamento quantitativo do afluente

A vazão média do afluente recepcionado na ETE é de $397,58 \text{ L.s}^{-1}$, média calculada a partir de dados dos anos de 2011 e 2012. As vazões sofrem variações da ordem de 26% e 28%, considerando-se a diferença entre as vazões mínima e máxima, correspondente aos mesmos anos de 2011 e 2012, respectivamente. Essas variações ocorrem em função de diversos fatores, tais como: estações do ano e condições meteorológicas, períodos de férias, domingos e feriados além de condições operacionais da própria ETE.

O volume mensal médio é de $1.030.527,36 \text{ m}^3$, calculado com base nos dados de 2011 e 2012.

Na TABELA 21 estão apontadas as vazões anuais e os volumes mensais, ambos referentes ao período de janeiro a dezembro dos anos de 2011 e 2012.

TABELA 21 – VAZÕES E VOLUMES MENSAIS DE AFLUENTES RECEPCIONADOS NA ETE, 2011-2012

ANO*	VARIAÇÃO DE VAZÃO (L.s ⁻¹)		VARIAÇÃO DE VOLUME NO MÊS (m ³)	
2011	Máxima	455,11	Máximo	1.179.645,12
	Média	391,63	Médio	1.015.104,96
	Mínima	336,63	Mínimo	872.544,96
2012	Máxima	451,25	Máximo	1.169.640,00
	Média	403,53	Médio	1.045.949,76
	Mínima	323,50	Mínimo	838.512,00

NOTA: *contempla o período de janeiro a dezembro dos referidos anos.

FONTE: CLS (2013)

4.3.1.2. Composição qualitativa do afluente

Os principais parâmetros do afluente (esgoto bruto) analisados na ETE são: temperatura, pH, DQO, DBO₅, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos, alcalinidade parcial e alcalinidade total.

Assim como a vazão, algumas características dos afluentes domésticos também sofrem variações em função de determinados fatores como período de chuvas, quando pode ocorrer um aumento instantâneo do volume afluente que chega a ETE e, como consequência, uma certa diluição do esgoto é esperada acarretando em alterações nas concentrações de alguns parâmetros como a DBO₅, por exemplo. Contudo, no caso da ETE objeto de estudo observa-se que as variações ao longo do período examinado (2011-2012) é pouco significativa.

Na TABELA 22 são apresentadas algumas das características do afluente que é recepcionado na ETE.

TABELA 22 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DO AFLUENTE (ESGOTO BRUTO), 2011-2012

ANO*	T (°C)	pH	DQO (mg.L ⁻¹)	DBO (mg.L ⁻¹)	SÓLIDOS SUSPENSOS (mg.L ⁻¹)	SÓLIDOS SEDIMENT ÁVEIS** (mg.L ⁻¹)	ALCALINI DADE (TOTAL)	ALCALINI DADE (PARCIAL)
2011	21,10	7,44	474,14	249,22	176,00	2,48	191,45	141,42
2012	21,76	7,36	554,69	309,65	218,66	3,51	206,37	133,38

NOTA: *contempla o período de janeiro a dezembro de cada ano-base. **Parâmetros como sólidos sedimentáveis são submetidos a medição em amostra obtida após a etapa de gradeamento (tratamento preliminar).

FONTE: CSL (2013)

Constata-se que no ano de 2012 os parâmetros DQO, DBO, sólidos suspensos, sólidos sedimentáveis e alcalinidade tiveram um acréscimo quando comparados a 2011.

Cumpra ressaltar que a amostragem para determinação de sólidos sedimentáveis é conduzida em ponto após o gradeamento, motivo pelo qual são registrados baixas concentrações deste parâmetro em particular.

Comparando-se as concentrações dos parâmetros DQO e DBO com referências de literatura especializada, verifica-se que os mesmos parâmetros se encontram dentro das características típicas para esgoto doméstico bruto (afluente). Von Sperling (2005) retrata os esgotos domésticos com concentrações de DQO próximas de 600 mg.L^{-1} e de DBO em torno de 300 mg.L^{-1} .

4.3.1.3. Caracterização do efluente tratado

Para o monitoramento da qualidade do efluente final, alguns parâmetros físicos, físico-químicos e microbiológicos são medidos, dos quais os considerados de rotina são: temperatura, pH, DQO, DBO_5 , sólidos sedimentáveis e sólidos suspensos.

Para o ensaio desses parâmetros de rotina são obtidas de 6 a 10 amostras por mês, por meio de procedimento de amostragem composta.

Nitrogênio amoniacal, nitrogênio total e fósforo total são parâmetros examinados mensalmente enquanto que, coliformes totais e termotolerantes são medidos ocasionalmente.

O monitoramento acontece nos seguintes pontos: na entrada da ETE, após o tratamento preliminar, após o tratamento em reator anaeróbio e, por fim, em ponto imediatamente anterior ao lançamento do efluente final no corpo receptor.

Na TABELA 23 é apresentada a concentração de impurezas dos efluentes dos reatores anaeróbios com base nos resultados de monitoramento dos parâmetros de rotina, durante os anos de 2011 e 2012.

TABELA 23 – CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE APÓS TRATAMENTO EM REATOR ANAERÓBIO, 2011-2012

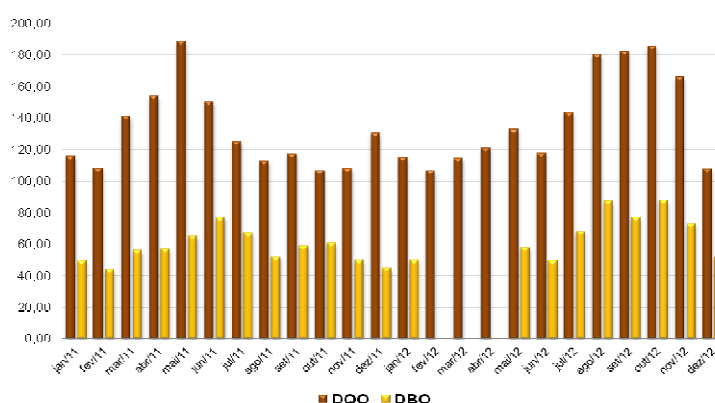
PARÂMETRO*	2011**	EFICIÊNCIA	2012**	EFICIÊNCIA
	EFLUENTE PÓS REATOR		EFLUENTE PÓS REATOR	
pH	7,16	-	7,17	-
DQO	281,63	41%	282,29	40%
DBO	93,83	62%	117,00	62%
SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS	0,7	72%	0,94	73%
SÓLIDOS SUSPENSOS	124,74	29%	123,78	43%

NOTA: *unidades de concentração expressas em mg.L^{-1} , exceto pH. **contempla o período de janeiro a dezembro dos referidos anos.

FONTE: CLS (2013); autora (2013)

Como descrito anteriormente, depois do tratamento em reator anaeróbio, o efluente é direcionado à lagoa de estabilização para tratamento biológico final.

Nos GRÁFICOS 12, 13, 14 e 15 são ilustradas as variações ao longo da série de 24 meses, objeto de estudo (2011-2012), para os parâmetros analisados (DQO, DBO_5 , sólidos suspensos, sólidos sedimentáveis, nitrogênio amoniacal e fósforo) em amostras do efluente final.



NOTA: *parâmetros expressos em mg.L^{-1} . **nos meses de fevereiro a abril de 2012 não foi registrado resultado de DBO.

GRÁFICO 12 – RESULTADOS DE DQO E DBO_5 NO EFLUENTE FINAL

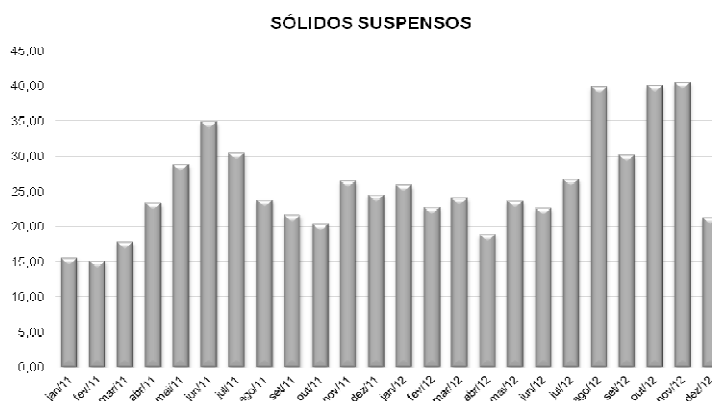
FONTE: CLS (2013), modificado pela autora (2013)

Observa-se que a DBO_5 atingiu seu valor máximo em $87,71 \text{ mg.L}^{-1}$ e um valor mínimo de $44,00 \text{ mg.L}^{-1}$, variando de 69% a 84% de remoção quando comparada a

DBO₅ média (ao longo dos 24 meses) do afluente. A DQO apresentou um valor máximo próximo de 188,56 mg.L⁻¹ e mínimo de 106,50 mg.L⁻¹, com intervalo de remoção entre 63% e 79%.

Essas variações podem ser causadas por características do afluente, problemas operacionais, variações meteorológicas, despejos irregulares na rede coletora, entre outros. No caso da DQO, as oscilações mais significativas podem ser decorrentes de lançamentos irregulares de despejos industriais que, por sua vez, podem acarretar em alterações bruscas na qualidade do tratamento.

O GRÁFICO 13 ilustra os resultados do monitoramento de sólidos em suspensão demonstrando alterações expressivas que podem ser observadas especialmente nos meses de junho de 2011, agosto, outubro e novembro de 2012. Condições meteorológicas bruscas e problemas operacionais podem ser responsáveis pelas variações no parâmetro de sólidos em suspensão.



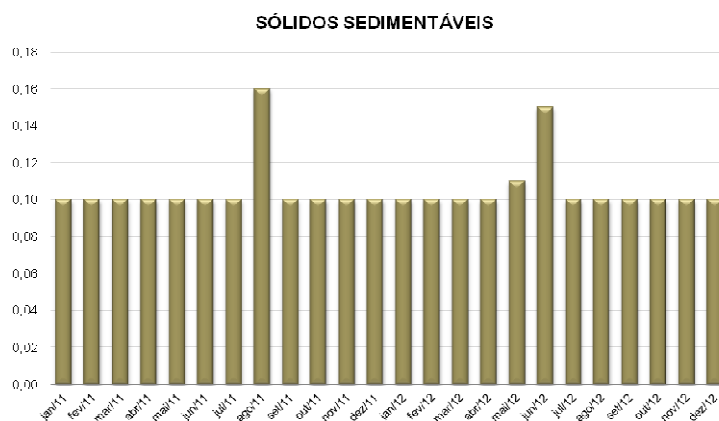
NOTA: *parâmetro expresso em mg.L⁻¹.

GRÁFICO 13 – RESULTADOS DE SÓLIDOS SUSPENSOS NO EFLUENTE FINAL

FONTE: CLS (2013), modificado pela autora (2013)

A presença de sólidos suspensos pode indicar a existência de impurezas de ordem física, química ou biológica. Alguns exemplos são: turbidez, ferro, manganês, nitrogênio, fósforo, matéria orgânica, algas, protozoários, e aglomerados de bactérias (VON SPERLING, 2005). Em determinadas situações, a permanência de sólidos em suspensão no efluente tratado pode provocar reflexos em etapas subsequentes de tratamento avançado.

No GRÁFICO 14 tem-se os resultados do monitoramento de sólidos sedimentáveis, com a manutenção de concentrações bastante constantes na maior parte do período, exceto nos meses de junho de 2011 e agosto de 2012.

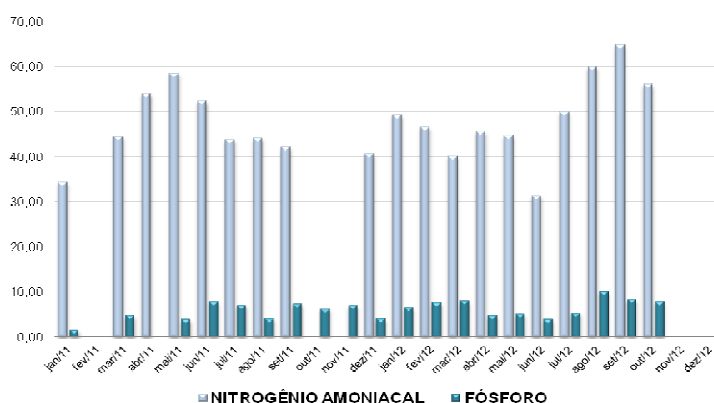


NOTA: *parâmetro expressos em mg.L⁻¹.

GRÁFICO 14 – RESULTADOS DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS DO EFLUENTE FINAL

FONTE: CLS (2013), modificado pela autora (2013)

O GRÁFICO 15 mostra as oscilações nos resultados de nitrogênio amoniacal e fósforo total. Em geral, a rotina de monitoramento para estes parâmetros na ETE é mensal restringindo o controle de qualidade do efluente final.



NOTA: *parâmetros expressos em mg.L⁻¹. **nos meses de fevereiro, outubro e novembro de 2011 e novembro e dezembro de 2012 não foi registrado resultado de nitrogênio e/ou fósforo.

GRÁFICO 15 – RESULTADOS DE NITROGÊNIO AMONIACAL E FÓSFORO TOTAL NO EFLUENTE FINAL

FONTE: CLS (2013), modificado pela autora (2013)

Os parâmetros nitrogênio e fósforo são de grande importância para a avaliação de qualidade de efluentes, sendo que a sua presença pode causar, conforme o caso, crescimento excessivo de algas (inclusive na lagoa, interferindo no seu desempenho), toxicidade para peixes (em função da amônia), poluição de águas subterrâneas, eutrofização, dentre outros fenômenos (VON SPERLING, 2005).

Na TABELA 24 são apresentadas as características do efluente final, bem como as taxas de eficiência de remoção do tratamento para os parâmetros monitorados na estação.

TABELA 24 – CARACTERÍSTICAS DO AFLUENTE, EFLUENTE PÓS REATOR E EFLUENTE FINAL, 2011-2012

PARÂMETRO	AFLUENTE	COMPOSIÇÃO MÉDIA (mg.L ⁻¹)					EFICIÊNCIA	
		DP _A	EFLUENTE PÓS REATOR ANAERÓBIO	DP _{EPR}	EFLUENTE FINAL*	DP _{EF}	ALCANÇADA PELA ETE**	RECOMENDADO EM LITERATURA****
pH	7,4	0,94	7,17	0,98	7,06	0,14	-	-
DQO	514,42	187,0	188,1	73,9	134,7	32,2	74%	65 - 80%
DBO	279,44	99,9	70,5	29,6	61,3	16,3	78%	75 - 85%
Sólidos sedimentáveis	3,00	2,55	0,79	0,655	0,11	0,05	96,5%	-
Sólidos suspensos	197,33	103,9	82,9	38,7	25,2	9,03	87%	70 - 80%
Nitrogênio amoniacal	-	-	-	-	45,3	11,7	***	< 30%
Fósforo	-	-	-	-	6,09	2,05	***	< 35%
Alcalinidade parcial	137,40	29,2	-	-	-	-	-	-
Alcalinidade total	198,91	38,0	-	-	-	-	-	-

NOTA: DP_A: Desvio Padrão do Afluente. DP_{EPR}: Desvio Padrão Efluente Pós Reator anaeróbio. DP_{EF}: Desvio Padrão Efluente Final. *unidades de concentração expressas em mg.L⁻¹, exceto pH.

contempla a média dos 24 meses (2011 e 2012). *não há monitoramento desses parâmetros no afluente (esgoto bruto). ****eficiência de tratamento da combinação de UASB e lagoa de polimento, segundo von Sperling (2005), adotado por analogia apenas para simples comparação.

FONTE: CLS (2013); VON SPERLING (2005), modificada pela autora (2013)

Comparando-se a eficiência de tratamento da ETE com dados de literatura (VON SPERLING, 2005), conforme indicado na TABELA 24, constata-se que a configuração de tratamento secundário existente na ETE (reator anaeróbio seguido de lagoa de estabilização) cumpre com as expectativas de desempenho para aqueles parâmetros de monitoramento de rotina.

Os parâmetros fósforo total, nitrogênio amoniacal e nitrogênio total não são objeto de monitoramento no afluente (esgoto bruto), motivo pelo qual não é possível averiguar taxas específicas de eficiência. Importante ressaltar que parâmetros como sólidos dissolvidos, organismos patogênicos, metais, dentre outros, também

merecem atenção, tendo em vista os impactos que podem causar no sistema de tratamento e, conseqüentemente, na qualidade do efluente final.

Observa-se que os parâmetros de DBO e DQO ambos apresentam eficiência acima de 70% no tratamento, estando dentro do esperado pelo sistema atual da ETE.

Com base nas características do efluente final, é possível inferir que a implantação de melhorias no sistema existente de tratamento da ETE, acompanhado de incorporação de pós tratamento, poderá fornecer efluente tratado (água de reúso) com características passíveis de reutilização na indústria.

A estação de tratamento de efluentes domésticos possui amplo espaço territorial, o que certamente é algo favorável para a implantação de um sistema de produção de água de reúso.

4.3.2. Alternativas para recuperação de água

Como citado anteriormente, a qualidade atual do efluente final da ETE não permite a sua utilização direta na indústria para a amplitude de usos pretendidos nesta pesquisa. Assim, uma ampliação nos níveis de tratamento deve ser incorporada à ETE para que se possa viabilizar a utilização de efluente (água recuperada) no pólo industrial local.

A seguir são abordadas três possíveis alternativas de tratamento avançado para a ETE em estudo, visando a produção de água de reúso industrial.

As soluções indicadas nesta pesquisa são fundamentadas em literatura especializada, bem como em outras experiências nacionais e internacionais relacionadas ao reuso de efluentes domésticos tratados.

Conforme descrito no capítulo de metodologia as alternativas de tratamento consideraram as seguintes premissas:

- Aproveitamento das unidades de tratamento preexistentes, quando possível;
- Melhoramento do sistema atual de tratamento preliminar, incorporando-se a remoção de espuma e de materiais flutuantes previamente ao

ingresso de efluente nos reatores anaeróbios, visando aumento da eficiência de remoção de matéria orgânica;

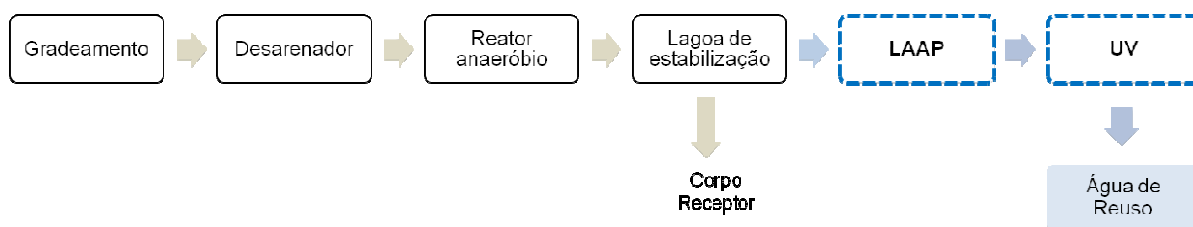
- Isenção de unidade de pré desinfecção, reduzindo desta forma a formação de subprodutos tóxicos.

a) Incorporação de sistema de lodos ativados com aeração prolongada e desinfecção com ultravioleta

A primeira alternativa contempla a seguinte configuração de tratamento:

- Sistema de tratamento preliminar;
- Sistema de reatores anaeróbios (preexistente);
- Lagoa de estabilização (preexistente);
- Sistema de lodos ativados com aeração prolongada (LAAP);
- Desinfecção com radiação ultravioleta (UV).

Na FIGURA 15 é apresentada a configuração do sistema de tratamento com incorporação de lodos ativados com aeração prolongada seguindo de desinfecção.



LEGENDA



FIGURA 15 - UNIDADES DE TRATAMENTO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁGUA (ALTERATIVA A)
FONTE: autora (2013)

Dentre as vantagens desse sistema destaca-se que a capacidade de elevar significativamente a eficiência do sistema de tratamento em termos de remoção de matéria orgânica. Outro aspecto relevante é a seleção do processo de desinfecção por meio de radiação ultravioleta, sistema que apresenta alta eficiência, requer espaço reduzido para a implantação e facilidade de operação e manutenção.

Enquanto a radiação UV provoca a inativação de microrganismos,

apresentando altas taxas de remoção de bactérias e protozoários. A tecnologia evita o uso de produtos químicos e, em consequência, não faz uso de precursores de subprodutos organoclorados. A radiação UV possui baixo custo quando comparado com outros sistemas de desinfecção.

Em relação às desvantagens dos sistemas de lodos ativados com aeração prolongada estão o alto consumo de energia e alto custo de investimento, além da baixa eficiência na remoção de patógenos, o que torna necessário a desinfecção. Nos sistemas com lodos ativados e aeração prolongada há um gasto maior de energia, porém é um dos processos de tratamento de esgotos mais eficientes na remoção de DBO (VON SPERLING, 2005).

Outro fator determinante na escolha desta configuração de tratamento, decorre da manutenção da lagoa de estabilização preexistente, aparentemente responsável por remover nutrientes de forma satisfatória, além de proporcionar uma desinfecção natural, especialmente em se tratando de ovos de helmintos, conforme relatado por Florêncio *et al.* (2006). A eficiência desta configuração de tratamento e a qualidade estimada para a água recuperada por este sistema são expostas na TABELA 25.

TABELA 25 – ALTERNATIVA DE TRATAMENTO BASEADA EM LODOS ATIVADOS COM AERAÇÃO PROLONGADA + RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA (a)

PARÂMETRO	EFLUENTE PÓS LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO		EFICIÊNCIA ESPERADA DO TRATAMENTO PROPOSTO - LAAP ^(a) + RADIAÇÃO UV	CONCENTRAÇÃO ESTIMADA NA ÁGUA RECUPERADA (mg.L ⁻¹)
	CONCENTRAÇÃO MÉDIA (mg.L ⁻¹)	EFICIÊNCIA CALCULADA (%)		
pH	7,06	-	-	
DQO	134,06	45%	83 - 93%	< 25
DBO	61,67	62%	90 - 97%	< 10
Sólidos sedimentáveis	0,11	73%	-	-
Sólidos suspensos	25,16	37%	87 - 93%	< 5
Nitrogênio amoniacal	45,36	-	> 80%	< 5

NOTA: ^(a)modificado de von Sperling (2005), com ressalvas.

FONTE: autora (2013)

É importante salientar que a eficiência de remoção de matéria orgânica em sistemas de lodos ativados com aeração prolongada apresentada por von Sperling (2005) tem por base a eficiência obtida com esta modalidade de tratamento para esgotos brutos.

Assim, muito embora empregada como referência no presente trabalho, o caso em análise tem aplicação em efluente já previamente tratado por reatores anaeróbios e lagoa de estabilização e, conseqüentemente, com relativamente baixos teores de matéria orgânica e nutrientes remanescentes, isto é, em condições de relativa carência de nutrientes e de carbono orgânico.

Assim, é esperada uma remoção total de matéria orgânica inferior ao apresentado na TABELA 25. Contudo, certamente a remoção de matéria orgânica que pode ser proporcionada pela configuração proposta de tratamento (a) tem condições de satisfazer requisitos de qualidade para água de reúso, em termos de DQO e DBO.

b) Incorporação de sistema de coagulação química e filtração direta seguido de desinfecção por combinação de processos oxidativos avançados

A segunda alternativa lembra uma combinação entre uma configuração típica de estação de tratamento de efluente e de uma estação de tratamento de água (ETE+ETA). A alternativa é a indicada a seguir:

- Sistema de tratamento preliminar;
- Sistema de reatores anaeróbios (preexistente);
- Lagoa de estabilização (preexistente);
- Coagulação em regime de mistura rápida;
- Flocculação em tanque de mistura lenta;
- Filtração direta (FD);
- Desinfecção com combinação de processos oxidativos avançados, incluindo peróxido de hidrogênio e radiação ultravioleta (H_2O_2/UV).

Na FIGURA 16 está descrita a configuração do sistema de tratamento composto por coagulação química, filtração direta e desinfecção com H_2O_2/UV .

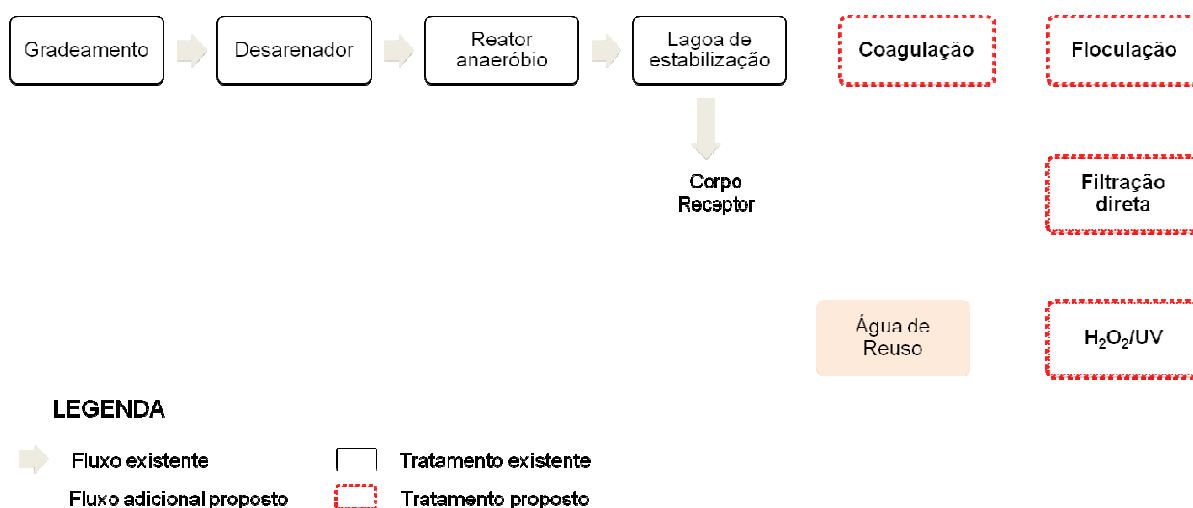


FIGURA 16 - UNIDADES DE TRATAMENTO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁGUA (ALTERNATIVA B)
 FONTE: autora (2013)

A eficiência esperada e a qualidade estimada para a água recuperada por este sistema são expostas na TABELA 26.

TABELA 26 – ALTERNATIVA DE TRATAMENTO UTILIZANDO COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO COM FILTRAÇÃO DIRETA + DESINFECÇÃO COMBINADA DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO E RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA (b)

PARÂMETRO	EFLUENTE PÓS LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO		EFICIÊNCIA ESPERADA DO TRATAMENTO PROPOSTO - FD ^(a) + H_2O_2/UV	CONCENTRAÇÃO ESTIMADA NA ÁGUA RECUPERADA (mg.L ⁻¹)
	CONCENTRAÇÃO MÉDIA (mg.L ⁻¹)	EFICIÊNCIA CALCULADA (%)		
pH	7,06	-	-	-
DQO	134,06	45%	70 - 80%	< 40
DBO	61,67	62%	70 - 85%	< 20
Sólidos sedimentáveis	0,11	73%	-	-
Sólidos suspensos	25,16	37%	80 - 95%	< 5
Nitrogênio amoniacal	45,36	-	20 - 85%	< 15

NOTA: ^(a) segundo Florêncio et al. (2006).

FONTE: autora (2013)

Assim como na alternativa de tratamento anterior, a proposta (b) foi adotada buscando aproveitar o sistema atual de tratamento, com a inclusão de tratamento terciário após a lagoa de estabilização.

Entre as vantagens das técnicas escolhidas são a capacidade de remoção de nutrientes remanescentes no efluente, tendo em vista que o sistema de filtração terciária melhora significativamente a qualidade da água recuperada, além de promover a remoção de larvas de helmintos e protozoários, conforme indicado por Florêncio *et al.* (2006). A coagulação tem alta eficiência na remoção de sólidos suspensos e matéria orgânica dissolvida

O método de desinfecção por processos oxidativos avançados é altamente eficaz e reduz significativamente a geração de subprodutos tóxicos, conforme tratado no Capítulo 2.5.5, em revisão de literatura. Uma desvantagem é alto custo de implantação do peróxido de hidrogênio.

c) Biorreator com membranas (MBR)

A alternativa (c), descrita a seguir, tem por objetivo propor alternativa para tratar o esgoto imediatamente após tratamento nos reatores anaeróbios.

Neste caso, o efluente dos reatores é bombeado para caixas de distribuição, seguindo por duas linhas de tratamento em nível secundário, que operam em paralelo, sendo que uma linha é direcionada ao tratamento existente (lagoa anaeróbia) e a linha adicional segue para produção de água de reúso.

Finalmente, a terceira alternativa contempla basicamente a seguinte configuração de tratamento:

- Sistema de tratamento preliminar;
- Sistema de reatores anaeróbios (preexistente);
- Biorreator com membranas (MBR).

Na FIGURA 17 está descrita a configuração do sistema de tratamento composto por biorreator com membranas (MBR).

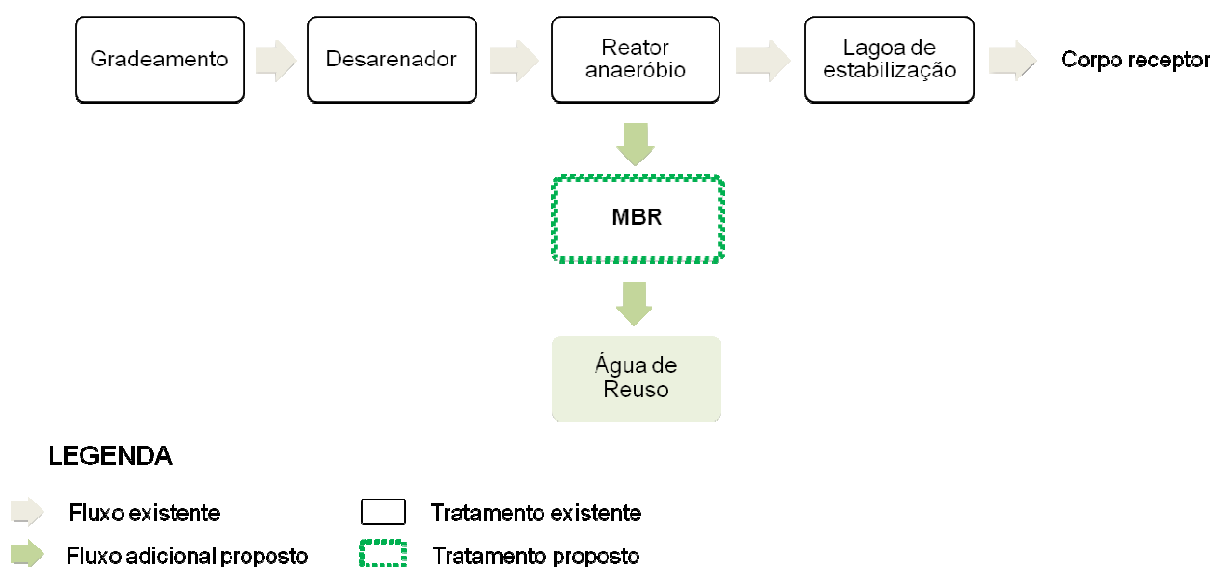


FIGURA 17 - UNIDADES DE TRATAMENTO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁGUA (ALTERNATIVA C)
 FONTE: autora (2013)

O sistema composto por biorreator com membranas (microfiltração ou ultrafiltração) possui alta eficiência no tratamento de efluentes, podendo inclusive produzir água potável. Estudos sobre a qualidade de efluente doméstico tratado por MBR têm demonstrado que a qualidade da água recuperada é bastante expressiva, com alta eficiência de remoção de poluentes e atendimento aos requisitos mínimos para a reutilização das águas para determinadas finalidades. Essa tecnologia de tratamento suprime a necessidade de desinfecção, tendo em vista a alta eficiência das membranas. O sistema também tem menor produção de lodo e necessita de menores espaços para instalação.

Dentre as desvantagens pode-se citar as limitações impostas pelos requisitos de pressão, temperatura, e pH; alto custo de implantação; manutenção e monitoramento frequentes da membrana e, as membranas podem ser sensíveis a determinados produtos químicos.

A eficiência desta configuração de tratamento e a qualidade estimada para a água recuperada por este sistema são expostas na TABELA 27.

TABELA 27 – ALTERNATIVA DE TRATAMENTO UTILIZANDO BIORREATOR COM MEMBRANAS (c)

PARÂMETRO	EFLUENTE PÓS REATOR ANAERÓBIO		EFICIÊNCIA ESPERADA DO TRATAMENTO PROPOSTO - MBR ^(a)	CONCENTRAÇÃO ESTIMADA NA ÁGUA RECUPERADA (mg.L ⁻¹)
	CONCENTRAÇÃO MÉDIA (mg.L ⁻¹)	EFICIÊNCIA CALCULADA (%)		
pH	7,16		-	
DQO	281,96	45%	89 - 98%	< 30
DBO	105,42	62%	> 97%	< 3
Sólidos sedimentáveis	0,82	73%	-	-
Sólidos suspensos	124,26	37%	> 99%	< 2 ^(b)
Nitrogênio amoniacal	*	-	80 - 90%	< 1 ^(b)

NOTA: * não há monitoramento de nitrogênio amoniacal nesta etapa do processo de tratamento.

^(a)segundo Melin et al. (2006).

^(b)segundo Cavalcanti (2009).

FONTE: autora (2013)

Os sistemas de lodos ativados e de MBR possuem funcionamento relativamente similares, tendo em vista que ambos possuem mecanismos de tratamento por via aeróbia, mas ao se comparar vantagens e desvantagens entre os dois sistemas, observa-se que a tecnologia de MBR tende a gerar menor quantidade de lodo e ainda apresentam melhores resultados, em especial em função da filtração por membranas.

Em contrapartida, o sistema MBR apresenta alto custo de instalação e operação, manutenção e ainda um frequente monitoramento de membranas, devido a sensibilidade que as mesmas apresentam a determinadas substâncias químicas.

Na TABELA 28 são sumarizadas as eficiências das três propostas de tratamento e a qualidade estimada para a água recuperada de cada configuração e comparadas ainda com os requisitos de qualidade de água de reúso na indústria, considerando os requisitos para águas de resfriamento.

A seguir (TABELA 28) a comparação entre as eficiências das três alternativas de tratamento propostas.

TABELA 28 – COMPARAÇÃO ENTRE AS EFICIÊNCIAS DAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO ALTERNATIVAS EM RELAÇÃO AOS CRITÉRIOS ADOTADOS PARA ÁGUA DE REÚSO

PARÂMETRO	QUALIDADE REQUERIDA PARA ÁGUA DE REÚSO (mg.L ⁻¹)	PROPOSTA A LAAP + UV		PROPOSTA B FD + H ₂ O ₂ /UV		PROPOSTA C MBR	
		EFICIÊNCIA (%)	QUALIDADE ESTIMADA (mg.L ⁻¹)	EFICIÊNCIA (%)	QUALIDADE ESTIMADA (mg.L ⁻¹)	EFICIÊNCIA (%)	QUALIDADE ESTIMADA (mg.L ⁻¹)
DQO	≤ 75 ⁽¹⁾	83 - 93	< 25	70 - 80	< 40	89 - 98	< 30
DBO	≤ 30 ⁽²⁾	90 - 97	< 10	70 - 85	< 20	> 97	< 3
SS	≤ 100 ⁽³⁾	87 - 93	< 5	80 - 95	< 5	> 99	< 2
N-NH ₄	≤ 1,0 ⁽⁴⁾	> 80	< 5	20 - 85	< 15	80 - 90	< 1

NOTA: ⁽¹⁾ segundo WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1989) apud USEPA (1992); METCALF e EDDY (2003) apud OENNING (2006). ⁽²⁾ segundo GOLDSTEIN et al. (1979) apud USEPA (1992); USEPA (2004); USEPA (2012). ⁽³⁾ segundo WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1989) apud USEPA (1992); METCALF e EDDY (2003) apud OENNING (2006). ⁽⁴⁾ GOLDSTEIN et al. (1979) apud USEPA (1992).

FONTE: autora (2013)

Com base na comparação, fundamentada em literatura especializada, exposta na TABELA 28, evidencia-se a estimativa de qualidade de água recuperada, constatando-se que, de forma geral, as tecnologias propostas permitem o cumprimento de requisitos de qualidade para água de reúso em sistemas de resfriamento, dentre outros usos. Contudo, as alternativas (a) e (c) apresentam notadamente uma hipótese de melhores resultados. A alternativa (b) aparentemente não permite uma remoção satisfatória de nitrogênio amoniacal.

É importante destacar que as alternativas discutidas na presente pesquisa não dispensam tratamentos adicionais em determinadas plantas industriais, tal como o sistema de produção de água desmineralizada por processo de troca iônica.

Certas plantas industriais empregam este tipo de tratamento adicional para águas alimentadas em caldeiras para a geração de vapor, especialmente em caldeiras de alta pressão. A indústria automotiva também é um exemplo de adoção de tratamento adicional por processo de troca iônica para águas utilizadas em processos de tratamento de superfícies. O tratamento adicional não representa um ônus ao eventual consumidor de água de reúso, uma vez que o emprego destes processos ocorre inclusive quando da utilização de água potável na indústria automotiva ou de águas subterrâneas em processos de geração de vapor.

Evidentemente que para empreender qualquer alternativa de sistema de tratamento avançado para a produção de água de reúso, são essenciais os estudos

de concepção e dimensionamento das alternativas assim como, uma aprimorada avaliação financeira ponderando-se os propósitos a fim de se determinar e projetar a tecnologia que se mostre técnica e economicamente viável e proporcionando água de reúso com qualidade suficiente para satisfazer as requisições das indústrias consumidoras.

4.4. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REÚSO INDUSTRIAL DE EFLUENTES TRATADOS DA ETE

A seguir serão discutidas as estimativas de potencial de reúso de água, considerando o volume mensal de água demandado por segmento industrial e, a estimativa de custo em termos de volume de água de reúso.

4.4.1. Estimativa do potencial de reúso

Na TABELA 29 é apresentada a estimativa do potencial de consumo de água de reúso para os segmentos industriais inventariados. Além do consumo humano, para alguns ramos industriais foi estimado de forma bastante conservadora um consumo de águas de melhor qualidade e/ou de elevado risco de exposição humana, os quais foram desconsiderados na estimativa de potencial de reúso.

Como já mencionado, segmentos industriais que requerem águas de melhor qualidade em seus processos, seja em razão da água ser incorporada ao produto final ou em função de um elevado risco de exposição humana, o consumo de água de alguns segmentos industriais não foi computado na estimativa do potencial de reúso.

Da mesma forma, para o segmento de cosméticos, perfumaria e produtos de higiene pessoal, no qual a água está presente como matéria prima essencial e incorporada ao produto final e, por consequência, o contato humano direto com o produto acabado decorre meramente da sua utilização, nenhuma fração do volume

de água consumida por este segmento foi computada na estimativa do potencial de reúso.

É relevante destacar que não se despreza o reúso de água nos segmentos supramencionados, entretanto, sugere-se que estes segmentos sejam objeto de estudos direcionados e específicos.

TABELA 29 – CONSUMO INDUSTRIAL DE ÁGUA E ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE REÚSO

SEGMENTO INDUSTRIAL	CONSUMO TOTAL (m ³ /mês)	ESTIMATIVA TEÓRICA DE CONSUMO HUMANO (m ³ /mês)	POTENCIAL DE REÚSO (m ³ /mês)	%*
Automotivo	30.014	21.350	8.664	28%
Construção	15.755	5.363	10.392	65%
Eletroeletrônicos e telecomunicações	10.043	5.249	4.794	47%
Energia e gás	214.846	846	214.000	99%
Madeira e reflorestamento	31.371	2.340	29.031	92%
Máquinas e equipamentos	23.557	13.133	10.424	44%
Materiais plásticos	9.243	8.010	1.233	13%
Metalurgia	72.510	9.336	63.174	87%
Produtos diversos	3.570	840	2.730	76%
Química	454.542	5.170	449.372	98%
Têxtil	12.213	1.028	11.185	91%
Transportes	5.670	5.055	615	10%
TOTAL	883.334	77.720	805.614	

* percentual de água reuso em relação ao consumo total de água, por segmento industrial.

FONTE: autora (2013)

Dos resultados apresentados na TABELA 29 pode se constatar o elevado potencial estimado para consumo de água de reúso pelas indústrias inventariadas, representando mais de 80% do volume de água consumido no local estudado (incluindo água potável e água industrial abastecidas pela concessionária local e águas subterrâneas de captações privadas).

Esse volume de água, potencial estimado para água de reuso, certamente poderia estar poupando os mananciais, demandas com produtos químicos para tratamento de água, custo pela companhia de saneamento e custos da indústria, além de evitar o lançamento de esgotos domésticos tratados em corpos hídricos.

No GRÁFICO 16, observa-se que o consumo humano estimado corresponde a cerca de 15% do consumo total de água pelo distrito industrial estudado.

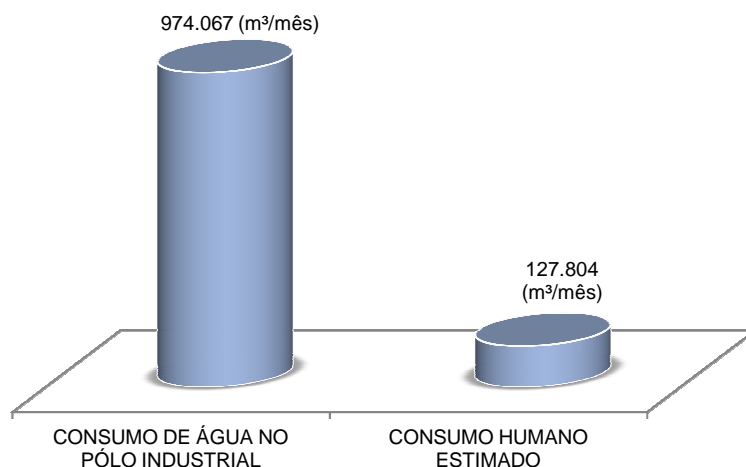
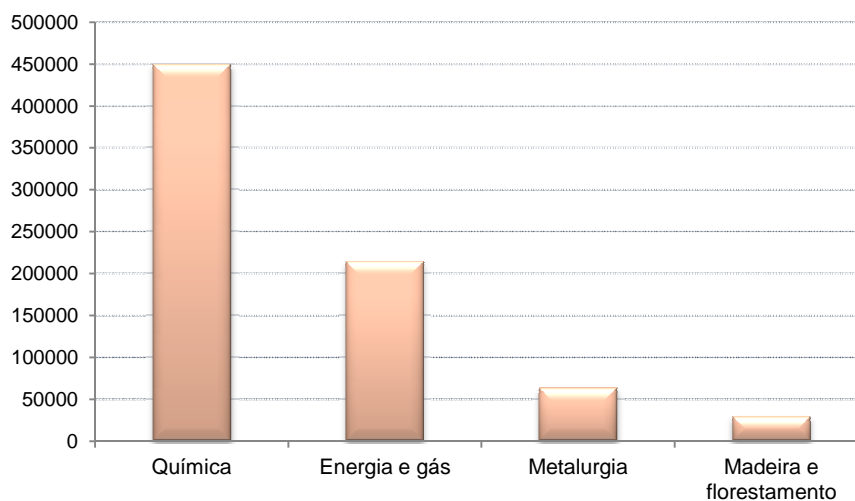


GRÁFICO 16 – VOLUMES MENSAIS DE CONSUMO TOTAL DE ÁGUA E DE CONSUMO HUMANO ESTIMADO
 FONTE: autora (2013)

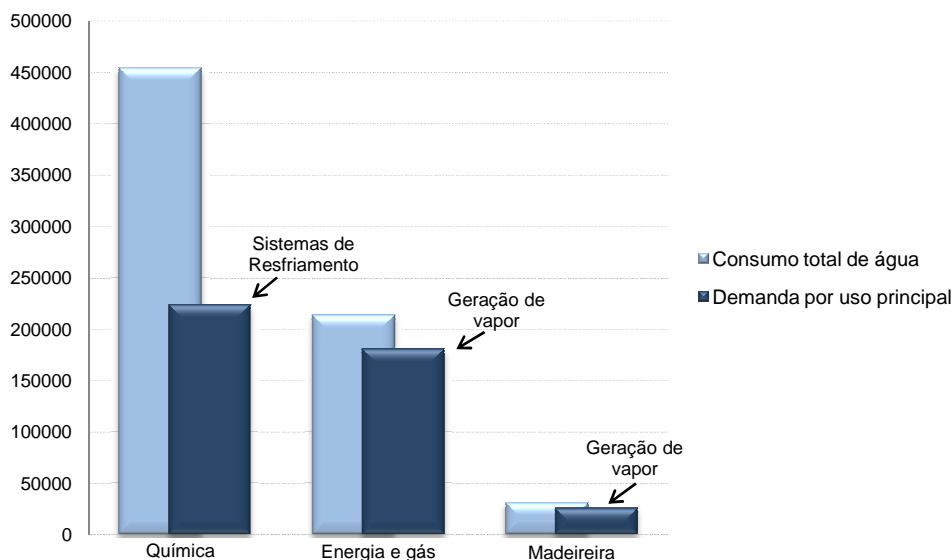
No GRÁFICO 17 são demonstrados os segmentos com maiores potenciais de consumo de água de reúso comparados aos demais. Percebe-se que os ramos industriais de energia e de química apresentam os números mais expressivos. No setor de energia, p. ex., o volume demandado para geração de vapor é bastante elevado enquanto que o consumo humano de água potável em uma usina é praticamente desprezível.



NOTA: *consumo de água expresso em m³/mês.

GRÁFICO 17 – SEGMENTOS COM MAIOR POTENCIAL DE CONSUMO DE ÁGUA DE REÚSO
 FONTE: autora (2013)

De posse dos dados obtidos nos levantamentos individuais pode-se comparar os volumes de água consumidos com os volumes requeridos para o principal uso nos segmentos de química, energia, madeira, ilustrados no GRÁFICO 18.



NOTA: *consumo de água expresso em m³/mês.

GRÁFICO 18 – COMPARATIVO DE CONSUMO DE ÁGUA FRENTE A DEMANDA DO USO PRINCIPAL

FONTE: autora (2013)

Como pode-se observar no GRÁFICO 18, na indústria química a água utilizada em sistemas de resfriamento consome quase 50% de todo o volume de água utilizada por este segmento.

Nos setores de energia e madeira a demanda para sistemas de geração de vapor ultrapassa a marca de 80% do volume total de água para essas tipologias.

Estes ramos industriais (química, energia e madeira) juntos poderiam reutilizar uma vazão de cerca de 265,00 L.s⁻¹, ou seja, somente estes segmentos seriam suficientes para absorver, com o propósito de água de reúso, o equivalente à 65% da vazão de lançamento de efluente da ETE.

Vale lembrar que mais de 50% dessas indústrias supracitadas distam até cerca de 5 km da ETE.

Comparando a vazão estimada de potencial de reúso, cerca de 375,00 L.s⁻¹ com a vazão atual de lançamento de efluente tratado pela ETE, aproximadamente 400,00 L.s⁻¹, certamente o pólo industrial tem potencialidade para reutilizar quase a

totalidade dos efluentes tratados na ETE, considerando água recuperada destinada à sistemas de resfriamento, de geração de vapor, como insumo de processos produtivos, operações de lavagem de equipamentos e instalações, dentre outros usos não potáveis (menos nobres).

4.4.2. Estimativa de custos com águas de abastecimento público e água de reúso

Como visto na TABELA 29 observa-se que a demanda por água não potável é grande, tendo em vista que a maior parte dessas águas não são destinadas a consumo humano ou a outros usos nobres que venham a ter contato humano.

Desta forma, constatou-se o alto potencial para o reuso de água pelas indústrias inventariadas.

Além da existência de demanda para a produção de água de reúso, fatores como investimento e lucratividade exercem alta influência para a implantação desses sistemas de produção de água de reuso.

Com base nas experiências com reuso no Brasil, em especial no estado de São Paulo, observa-se que a prática do reúso fornece água com preços mais competitivos quando comparado a tarifa de fornecimento de águas de abastecimento público e/ou para consumo industrial propriamente dito.

Como no estado do Paraná ainda não há prática de reúso de efluentes domésticos tratados para reúso na indústria, adotou-se como base de custo por metro cúbico os valores adotados pelo estado de São Paulo.

A TABELA 30 traz os custos com águas de abastecimento, em termos de volume mensal consumido por segmento industrial, e, os custos estimados quando o volume de água de abastecimento público consumida para fins não potáveis, de acordo com o que foi constado na TABELA 29, é substituída por água de reúso.

A TABELA 30 tem como referência o volume total de águas de abastecimento público por segmento industrial, extraído desse valor o consumo humano estimado, conforme detalhado nas TABELAS 19 e 29. O cálculo não foi feito para a extração de águas subterrâneas, tendo em vista que estas possuem cobrança diferenciada e, em alguns casos, o custo da extração (R\$/m³) é muito baixo, o que não favorece a substituição de águas subterrâneas por água de reúso.

A TABELA 30 tem por objetivo comparar os custos de águas de abastecimento público com uma estimativa de custos de água de reúso.

TABELA 30 – COMPARAÇÃO ESTIMADA DE CUSTOS DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO E ÁGUA DE REÚSO

SEGMENTO INDUSTRIAL	POTENCIAL DE REÚSO (m ³ /mês)	ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO		ÁGUA DE REUSO		ESTIMATIVA DE ECONOMIA MENSAL (%)
		TARIFA (R\$/ m ³) ⁽¹⁾	CUSTO TOTAL (R\$/mês)	CUSTO UNITÁRIO (R\$/ m ³) ⁽²⁾	ESTIMATIVA DE CUSTO TOTAL (R\$/mês)	
Automotivo	1.720	4,47	R\$ 7.688	0,94	R\$ 1.616	65 - 80
Energia e gás	199.716	2,8 ⁽³⁾	R\$ 559.204	0,94	R\$ 187.733	
Madeira e reflorestamento	26.763	2,8 ⁽³⁾	R\$ 74.936	0,94	R\$ 25.157	
Máquinas e equipamentos	6.724	4,47	R\$ 30.056	0,94	R\$ 6.320	
Metalurgia	40.154	4,47	R\$ 179.488	0,94	R\$ 37.744	
Química	236.721	2,8 ⁽³⁾	R\$ 662.818	0,94	R\$ 222.517	
Têxtil	1.105	4,47	R\$ 4.939	0,94	R\$ 1.038	

Nota: ⁽¹⁾ tarifa para a indústria extraída da tabela de saneamento básico 2012 da SANEPAR. ⁽²⁾ custo unitário adotado pela SABESP para fornecimento de água de reúso para empresas privadas, ano base 2012. ⁽³⁾ segmentos com algumas indústrias que recebem água para uso industrial, os custos foram estimados de acordo com as médias dessas indústrias.

FONTE: autora (2013)

Observa-se uma redução significativa de custos para a indústria quando esta substitui água não potável por água de reúso. Porém, se a mesma comparação da TABELA 30 for feita para captação de águas subterrâneas, o custo da água de reúso será mais caro quando comparada à esta fonte de água.

5 CONCLUSÃO

De posse do inventário de demandas de água nas indústrias, constatou-se que o volume de água utilizada pelas indústrias inventariadas nesta pesquisa, aproximadamente 550.000 m³/mês, o que corresponde a mais 50% de todo o volume de água utilizada pelo distrito industrial, é utilizada em sistemas de resfriamento e de geração de vapor. Por sua vez, o consumo humano dentro das indústrias inventariadas foi estimado e, em tese, representa um valor inferior a 15% do volume de água utilizado.

Como resultado desta pesquisa, estima-se um alto potencial para reúso de água industrial a partir da recuperação de efluentes domésticos, considerando que muitos segmentos industriais na localidade requerem uma maior demanda por recursos hídricos para usos não potáveis. Averiguou-se também que os principais segmentos passíveis de reúso são os ramos de química e de energia, com altas demandas de águas de refrigeração e de alimentação de caldeiras (geração de vapor), respectivamente. A indústria madeireira também requer alta demanda de água para a geração de vapor. Um grande potencial de reúso também foi identificado para a indústria metalúrgica.

Considerando a distância entre a ETE estudada e as indústrias com maior potencial de reúso, i.e., química, energia, madeira e metalurgia, pôde-se delimitar que mais de 45% das plantas indústrias estão instaladas dentro do raio de 5 km em relação a ETE, reforçando a possibilidade de viabilizar programas de reúso de água pelas indústrias.

Comparando a qualidade do efluente tratado na ETE (com os processos empregados atualmente) com os requisitos mínimos para uso de água na indústria, constata-se a necessidade de emprego de tratamento adicional para recuperação da água a partir dos efluentes domésticos, tendo em vista que as características do efluente tratado na ETE não atendem aos requisitos para as atividades industriais de sistemas de resfriamento e geração de vapor.

Ao se comparar a vazão estimada de potencial de reúso, cerca de 375,00 L.s⁻¹, com a vazão atual de lançamento de efluente tratado pela ETE, aproximadamente 400,00 L.s⁻¹, evidencia-se a disponibilidade de efluentes tratados na ETE com potencial de reutilização em indústrias.

Em relação à área disponível para implantação de um sistema de tratamento avançado, a ETE objeto de estudo possui amplo espaço disponível que comporta tratamento avançado baseado em qualquer uma das configurações propostas nesta pesquisa.

As alternativas de tratamento propostas promovem melhora significativa no efluente tratado, fornecendo características compatíveis com os requisitos de qualidade da água para a utilização em sistemas de resfriamento e geração de vapor. Ambas apresentam elevada eficiência na remoção de matéria orgânica e patógenos característicos do efluente doméstico.

Através da avaliação quantitativa e qualitativamente do potencial de reúso industrial de efluente doméstico tratado é possível inferir que a substituição de água de abastecimento por água de reúso, oriunda de efluentes domésticos tratados, proporciona uma redução de 65 - 80% de custos mensais com água para a indústria.

O volume estimado de potencial de reúso no pólo industrial, considerando o escopo espacial da pesquisa, é próximo de 800.000 m³/mês, volume este que certamente pode refletir na conservação de mananciais para abastecimento público e/ou conservação ambiental. Este volume seria suficiente para abastecer uma cidade com mais de 120.000 habitantes.

Na intenção de dar continuidade com o propósito desta pesquisa, são recomendados para estudos futuros:

- Completa caracterização física, química e microbiológica e monitoramento do afluente, efluentes parciais e efluente final em estações de tratamento de efluentes;
- Monitoramento de subprodutos gerados em sistemas de desinfecção de efluentes domésticos;
- Estudos específicos sobre reúso de efluentes em indústrias dos segmentos de alimentos, eletroeletrônica, cosméticos, perfumaria e produtos de higiene pessoal;
- Estudos específicos sobre avaliação de risco de exposição humana em função de uso de água recuperada a partir de efluentes domésticos;
- Avaliação técnica e financeira de alternativas de produção de água de reúso industrial.

REFERÊNCIAS

ANA, Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Brasília: ANA, 2012. 264 p. Cadernos de Recursos Hídricos

ANA, Agência Nacional de Águas. **ÁguasBrasil**. Brasília: MMA/ANA, 2011. Informativo da Agência Nacional de Águas – Especial.

ANA, Agência Nacional de Águas. Atlas Brasil Abastecimento urbano de água: panorama nacional. Brasília: ANA/Engecorps/Cobrape, 2010.

ANA, Agência Nacional de Águas. **GeoBrasil Recursos Hídricos**: Componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil. Brasília: GeoBrasil/MMA/ANA, 2007. 60 p. Resumo executivo.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Brasília: ANA, 2005. 176 p. Cadernos de Recursos Hídricos

ANDREOLI, C. V.; DALARMI, O.; LARA, A. I.; ANDREOLI, F. N. **Limites ao desenvolvimento da região metropolitana de Curitiba, impostos pela escassez de água**. In: 9º SILUBESA - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, abr. 2000, Porto Seguro. Anais ... Porto Seguro, 2000. p. 185-195.

ANDREOLI, C. **Reúso de água como instrumento de gestão de recursos hídricos**: apresentação oral. Trabalho apresentado no 1º Simpósio Internacional de Reúso de Água Simpósio, ABES-PR, Curitiba, 2012.

ARÉVALO, J. RUIZ, L.M. PARADA-ALBARRACÍN, J.A. GONZÁLEZ-PÉREZ, D. M. MORENO, B. GOMÉZ, M.A. *Wastewater reuse after treatment by MBR. Microfiltration or ultrafiltration?*. **Desalination**. Espanha, n.299, p. 22-27, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969. Tanques sépticos** - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - projeto, construção e operação. ABNT. Rio de Janeiro, 1997.

ASANO, T. BURTON, F. L. LEVERENZ, H. L. TSUCHIHASHI, R. TCHOBANOGLOUS, G. **Water reuse: issues, technologies, and applications**. 1.ed. New York: McGraw Hill, 2007.

ASANO, T.; MAEDA, M.; TAKAKI, M. *Wastewater reclamation and reuse in Japan: overview and implementation examples*. **Water science and technology**. Grã-Bretanha. vol. 34, n. 11, p. 219 - 226, 1996.

BEZERRA, F. B. **Reúso de água na Petrobrás**. apresentação oral. Trabalho apresentado no 1º Simpósio Internacional de Reúso de Água Simpósio, ABES-PR, Curitiba, 2012.

CASANI, S.; ROUHANY, M.; KNOCHER, S. *A discussion paper on challenges and limitations to water reuse and hygiene in the food industry*. **Water Research**. Espanha. n.39, p. 1134-1146, 2005.

CARTAGÉNA, P.; KADDOURI, M. E.; CASES, V.; ARTURO, T.; PRATS, D. *Reduction of emerging micropollutants, organic matter, nutrients and salinity from real wastewater by combined MBR–NF/RO treatment*. **Separation and purification technology**. Espanha. n.110, p. 132-143, 2013.

CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. 2.ed. São Paulo.SP: Engenho editoria técnica Ltda. 2009.

CHEMICARO, C. A (coordenador). **Pós tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. 2.ed. Belo Horizonte.MG: ABES - Projeto PROSAB. 2001.

CSL, COMPANHIA DE SANEAMENTO LOCAL. **Características da água bruta e requisitos de qualidade da água produzida na ETA Industrial**. 2013. No prelo.

CSL, COMPANHIA DE SANEAMENTO LOCAL. **Características do efluente tratado em ETE**. 2013. No prelo.

CROOK, J. Critérios de qualidade da água para reúso. **Revista Técnica da SABESP**. São Paulo, nov./dez. 1993.

CROOK, J. **Applications, risks, and public acceptance of water reuse**. Apresentação oral. Trabalho apresentado no 1º Simpósio Internacional de Reúso de Água, ABES-PR, Curitiba, 2012.

CUNHA, A. H.; OLIVEIRA, T. H.; FERREIRA, R. B.; MILHARES, A. L.; SILVA, S. M. Reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país. **Enciclopédia Biosfera - Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v.7, n. 13. p. 1225-1248, 2011.

DANIEL, L. A.; BRANDÃO, C. C. S.; GUIMARÃES, J. R.; LIBÂNIO, M.; LUCA, S. J. D.; **Métodos alternativos de desinfecção na produção de água potável**. 2.ed. São Carlos. SP: RiMa/ABES - Projeto PROSAB, 2001.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2.ed. São Paulo.SP: RiMa. 2005.

FIEP, Federação das Indústrias do Estado do Paraná. **Cadastro das Indústrias 2013**. Curitiba: EBGE, 2013. 1 CD-ROM.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. 1.ed. Rio de Janeiro.RJ: RiMa/ABES - Projeto PROSAB, 2006.

FLORIDO, P. L. **Tratamento de efluente de refinaria pelo processo combinado de adsorção em carvão ativado e biorreator com membranas**. 155 p. Tese (doutorado em engenharia química) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

FRIEDLER, E.; GILBOA, Y.; *Performance of UV disinfection and the microbial quality of greywater effluent along a reuse system for toilet flushing*. **Science of the total environment**. Israel. n.408, p. 2109-2117, 2010.

GIORDANI, S.; SANTOS, D. C. Possibilidades de reúso dos efluentes domésticos gerados nas bacias do Alto Iguaçu e Alto Ribeira - Região de Curitiba-Paraná. **Sanare: Revista Técnica da Sanepar**. Curitiba, 2003.

GIORDANI, S. **Averiguações das possibilidades de reúso de efluentes domésticos tratados nas bacias do Alto Iguaçu e Alto Ribeira - região de Curitiba**. 202 p. Dissertação (mestrado em engenharia hidráulica), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

GOOGLE. **Google Earth**. Brasil, PR, 2013. Internet.

GONÇALVES, R. F (coordenador). **Desinfecção de efluentes sanitários**. 1.ed. Rio de Janeiro: ABES/RiMa - Projeto PROSAB, 2003.

HELMER, R.; HESPANHOL, I. ***Water pollution control - a guide to the use of water quality management principles***. Londres: Published on Behalf of Who by F & Fn Spon, 1997. 526 p.

HESPANHOL, I.; MIERZWA, J. C. RODRIGUES, L. D.; SILVA, M. C. **Manual de conservação e reúso de água na indústria**. Rio de Janeiro: CIRRA/IRCWR. DIM, 2006. 38 p.

HESPANHOL, I.; GONÇALVES, O. M.; SAUTCHÚK, K. A.; LANDI, F. D.; MIERZWA, J. C.; VIVACQUA, M. C.; SILVA, M. C.; LANDI, P. D.; SCHMIDT, W. **Manual de conservação e reúso de água na indústria**. São Paulo: CIRRA/FCTH/DTC, 2004. 93 p.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios e recarga de aquíferos. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. São Paulo, v.7, n. 4, p. 75-95, 2002.

IAP. Instituto das Águas do Paraná. **Monitoramento da qualidade das águas dos rios da bacia do Alto Iguaçu, na região metropolitana de Curitiba, no período de 2005 e 2009**. Curitiba: IAP, 2009. 114 p. Relatório técnico.

IPARDES. INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Mapa do Estado do Paraná**. Brasília: IPARDES, 2013.

JIMÉNEZ, B. ASANO, T. ***Water reuse: an international survey of current practice, issues and needs***. 1.ed. Londres: IWA Publishing, 2008.

KONING, J.; BIXIO, D.; KARABELAS, A.; SALGOT, M.; SHAFER, A. ***Characterisation and assessment of water treatment technologies for reuse. Desalination***. Bélgica, n. 218, p. 92-104, 2006.

LAPOLLI, F. R.; HASSEMER, M. E. N.; CAMARGO, J. G.; DAMÁSIO, D. L.; RECIO, M. Á. Desinfecção de efluentes sanitários através de Dióxido de cloro. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. Brasil, v. 10. n.3 p. 200-208, 2005.

LAZAROVA, V.; SAVOYE, P.; JANEX, M.; BLATCHLEY, E.; POMMEPUY, M. ***Advanced Wastewater Disinfection Technologies: State of the Art and Perspectives. Water Science and Technology***, v. 40. p. 203-213, 1999.

LEITE, A. M. **Reúso de água na gestão integrada de recursos hídricos**. 117 p. Dissertação (mestrado em planejamento e gestão ambiental) - Programa de Pós graduação em Planejamento e Gestão Ambiental, Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2003.

LIBHABER, M. **Experiência de reúso de água em Israel**: apresentação oral. Trabalho apresentado no 1º Simpósio Internacional de Reúso de Água Simpósio, ABES-PR, Curitiba, 2012.

LOBO, L. P. **Análise comparativa dos processos de filtração em membranas e clarificação físico-química para reúso de água na indústria**. 103 p. Dissertação (mestrado em engenharia ambiental), Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Salvador, 2004.

MANCUSO, P. C.; SANTOS, H. F. **Reuso de água**. 1.ed. Barueri.SP: Manole. 2003.

MANCUSO, P. C. *Reúso de água para torres de resfriamento*. São Paulo, 2001.

MANCUSO, P. C.; MANFREDINI, B.; *Reuso de água em sistema de resfriamento. Estudo de caso: subestação conversora de energia furnas centrais elétricas*. Brasil, 2005.

MELIN, T.; JEFFERSON, B.; BIXIO, D.; THOEYE, C.; WILDE, W.; KONING, J.; GRAAF, V. J.; WINTGENS, T. *Membrane bioreactor technology for wastewater treatment and reuse*. **Desalination**. Bélgica, n.187, p. 271-282, 2006.

MENZEL, U. **Tecnologias de tratamento de efluentes e água de processo na Europa visando o seu reúso**. apresentação oral. Trabalho apresentado no 1º Simpósio Internacional de Reúso de Água Simpósio, ABES-PR, Curitiba, 2012.

MIERZWA, J. C. HESPANHOL, I. **Água na indústria: uso racional e reúso**. 1.ed. São Paulo. SP: Oficina de textos. 2005.

MIERZWA, J. C. **O uso racional e o reúso como ferramenta para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria**: estudo de caso da KODAK brasileira. 367 p. Tese (Doutorado em engenharia) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Técnica da Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2002.

MUSTAFÁ, G. S. **Reutilização de efluentes líquidos em indústria petroquímica**. 99 p. Dissertação (mestrado em engenharia química), Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1998.

NARKIS, N.; ARMON, R.; OFFER, R.; ORSHANSKY, F.; FRIEDLAND, E. *Effect of suspended solids on wastewater Disinfection efficiency by chlorine dioxide*. **Water Research**. Israel, v. 29, n. 1, p. 227-236, 1995.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. **Committee on the assessment of water reuse. Water reuse: potential for expanding the nation's water supply through reuse of municipal wastewater**. Washington.USA: NAP, 2012. 259 p.

NATURA. Projeto Biodiversidade Brasil – Natura e TV Cultura. **Prêmio FIESP de Mérito Ambiental**. NATURA, São Paulo, v. 1, 55 p., 2004.

NUNES, R. T. **Conservação da água em edifícios comerciais**: potencial de uso racional e reúso em shopping center. 144 p. Dissertação (mestrado em ciências em planejamento energético) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

ODEBRECHT. Foz do Brasil e Sabesp desenvolvem o maior projeto de água de reúso do Hemisfério Sul. **Odebrecht**, São Paulo, 02 junho 2010. Disponível em: <<http://www.odebrecht.com/sala-imprensa/press-releases?id=14273>>. Acesso em: 10/02/2012.

OENNING, A. J. PAWLOWSKY, U. Avaliação de tecnologias avançadas para o reúso de água em indústria metal-mecânica. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. Brasil, v. 12. n.3 p. 305-316, 2007.

OENNING, A. J. **Avaliação de tecnologias avançadas para o reúso de água em indústria metal-mecânica**. 224 p. Dissertação (mestrado em engenharia de recursos hídricos e ambiental), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

OLIVEIRA, E. C. M. **Desinfecção de efluentes sanitários tratados através da radiação ultravioleta**. 91 p. Dissertação (mestrado em engenharia ambiental) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

PADILLA, W. **Tecnologías apropiadas y sus estrategias en la perspectiva social, económica y ambiental, el fertirriego como herramienta alternativa en**

ibero-américa. Grupo Clínica Agrícola y Univ.Tecnológica Equinoccial, Ecuador, 2007.

PÁDUA, V. L. **Remoção de microorganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano.** 1.ed. Rio de Janeiro.RJ: ABES - Projeto PROSAB, 2009.

POMBO, F. R. **Gestão da demanda de água na indústria de refino de petróleo: desafios e oportunidades de racionalização.** 152 p. Tese (Doutorado em planejamento energético) - Pós-Graduação de Pesquisa e Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. **Perspectivas do Meio Ambiente Mundial:** passado, presente e futuro. 2004, IBAMA/UMA.

RAMÍREZ, J. A. L.; OVIEDO, M. D. C.; ALONSO, J. M. Q.; *Comparative studies of reverse osmosis membranes for wastewater reclamation.* **Desalination.** Espanha, n.191, p. 137-147, 2006.

RICHTER, C. A. **Água métodos e tecnologia de tratamento.** 1.ed. São Paulo.SP: Bluscher. 2009.

ROCHA, G. **Cadernos de educação ambiental:** recursos hídricos. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/publicacoes/sma/14-RecursosHidricos.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2013.

ROCHA, J. C. ROSA, A. H. CARDOSO, A. A. **Introdução à química ambiental.** 1.ed. Porto Alegre.RS: Bookman. 2004.

RODRIGUES, R. S. **As dimensões legais e institucionais do reuso de água no Brasil:** proposta de regulamentação de reuso de água no Brasil. 177 p. Dissertação (mestrado em engenharia) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SAMPAIO, A. O. **Programas de reúso da SABESP.** apresentação oral. Trabalho apresentado no 1º Simpósio Internacional de Reúso de Água Simpósio, ABES-PR, Curitiba, 2012.

SANTOS, M. O. R. M. D. **O impacto da cobrança pelo uso da água no**

comportamento do usuário. 231 p. Tese (doutorado em ciências em engenharia civil) - Coordenação de Pós-Graduação de Pesquisa e Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SANTOS, M. F. **Estudo preliminar da avaliação técnica de metodologias de tratamento terciário do efluente tratado gerado na ETE da Cetrel para reúso em atividades industriais.** 136 p. Dissertação (mestrado em gerenciamento e tecnologias ambientais no processo produtivo), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Bahia, Salvador, 2007.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Instituto das Águas do Paraná. **Plano estadual de recursos hídricos do Paraná.** Curitiba: SEMA, 2011. 57 p. Resumo executivo.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Instituto das Águas do Paraná. **Bacias hidrográficas do Paraná.** Curitiba: SEMA, 2010. 139 p. Resumo executivo.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Instituto das Águas do Paraná. **Bacias hidrográficas do Paraná.** Curitiba: SEMA, 2013. 140 p. Resumo executivo.

SEMA, Secretaria Estadual de Recursos Hídricos. Bacias Hidrográficas do Paraná. Paraná: 2013. 140 p. Resumo executivo.

SENEVIRATNE, M. ***A Practical approach: to water conservation for commercial and industrial facilities.*** 1.ed. Estados Unidos: Publishing Elsevier Science, 2007.

SILVA, A. K. FLORES, L. C. GALDEANO, M. M. VAL, P. T. **Reúso de água e suas implicações jurídicas.** 1.ed. São Paulo.SP: Navegar. 2003.

SILVA, F. G. **Projeto aquapolo ambiental.** apresentação oral. Trabalho apresentado no 1º Simpósio Internacional de Reúso de Água Simpósio, ABES-PR, Curitiba, 2012.

SILVA, G. G.; NAVAL, L. P.; DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. Tratamento de água de reservatórios por dupla filtração, oxidação e adsorção em carvão ativado granular. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental.** Brasil, v. 17, n.1, p. 71-80, 2012.

TEIXEIRA, C. P.; JARDIM, W. F. **Processos oxidativos avançados**: conceitos teóricos. v. 3. Campinas.SP: UNICAMP, 2004. (Cadernos Temático).

TELLES, D. A. COSTA, R. H. NUVOLARI, A. TEIXEIRA, E. P. RIBEIRO, F. M. NASCIMENTO, J. E. STANGE, K. BASSOI, L. J. SOUZA, M. O. PAULA, P. N. BRESAOLA JR, R. CARRARA, S. M. **Reuso de água**: conceitos, teorias e práticas. 2.ed. São Paulo.SP: Blucher. 2010.

TOMAZ, P. **Rede de esgotos**. 1.ed. São Paulo.SP: Navegar. 2010.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3.ed. São Paulo.SP: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2006.

VIERO, A. F. **Avaliação do desempenho de um biorreator com membranas submersas para tratamento de efluente**. 174 p. Tese (doutorado em ciências e engenharia química) - Pós-Graduação de Pesquisa e Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for water reuse**. Washington, DC.USA: USEPA, September, 1992. 261 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for water reuse**. Washington, DC.USA: USEPA, September, 2004. 445 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for water reuse**. Washington, DC.USA: USEPA, September, 2012. 642 p.

VON SPERLING, M. **Princípios de tratamento de esgotos**. 3.ed. Belo Horizonte.MG: SEGRAC.2005.

WANG, X.; HU, X.; HU, C.; WEI, D. *Sequential use of ultraviolet light and chlorine for reclaimed water disinfection*. **Journal of environmental sciences**. China, 2011. n.23, p. 5.

WERT, E. C.; ORTIZ, F. L. R.; DROURY, D. D.; SNYDER, S. A. *Formation of oxidation byproducts from ozonation of wastewater*. **Water Research**. USA, n.41, p. 1481-1490, 2007.

WINTGENS, T.; MELIN, T.; SCHILLER, A.; KHAN, S.; MUSTON, M.; BIXIO, D.; THOEYE, C. *The role of membrane processes in municipal wastewater reclamation and reuse. **Desalination***. Bélgica, n.178, p. 1-11, 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. ***Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards***. nº 517, 54 p. Genebra: WHO, 1973.

WORLD HEATH ORGANIZATION. ***Progress on drinking water and sanitation***. WHO/UNICEF. Disponível em:
<<http://www.unicef.org/media/files/JMPReport2012.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2013.

YI, L. L.; JIAO, W.; CHEN, X.; CHEN, W. *An overview of reclaimed water reuse in China. **Journal of environmental sciences***. China, n.23 (10), p. 1585-1593, 2011.

APÊNDICES

**APÊNDICE 1 - LEVANTAMENTO INDIVIDUAL DE CONSUMO DE ÁGUA -
QUESTIONÁRIO SIMPLIFICADO (2013)**

Avaliação do potencial de reúso de efluente tratado em indústrias de Curitiba e região

Identificação da empresa:

Razão social: _____
Segmento: _____
Endereço: _____
Pessoa de contato: _____
Departamento: _____
Telefone: _____
Número de funcionários: _____
Dias trabalhados no mês: _____

Origem da água:	<input type="checkbox"/>	Água subterrânea	_____ m ³ /mês	Subterrânea
	<input type="checkbox"/>	Água superficial	_____ m ³ /mês	Superficial
	<input type="checkbox"/>	Abastecimento público	_____ m ³ /mês	Água potável (concessionária)
	<input type="checkbox"/>	Outros.	_____ m ³ /mês	Outras fontes.

Principais usos:	<input type="checkbox"/>	Matéria-prima (água agregada ao produto final)	_____ m ³ /mês	Quant.:
	<input type="checkbox"/>	Consumo humano	_____ m ³ /mês	
	<input type="checkbox"/>	Processos produtivos	_____ m ³ /mês	
	<input type="checkbox"/>	Geração de vapor	_____ m ³ /mês	
	<input type="checkbox"/>	Sistemas de resfriamento	_____ m ³ /mês	
	<input type="checkbox"/>	Produção de água desmineralizada	_____ m ³ /mês	
	<input type="checkbox"/>	Lavagem de equipamentos	_____ m ³ /mês	
	<input type="checkbox"/>	Lavagem de pátios	_____ m ³ /mês	
	<input type="checkbox"/>	Irrigação de jardins	_____ m ³ /mês	
	<input type="checkbox"/>	Outros usos.	_____ m ³ /mês	

Possui instalações de tratamento de águas e efluentes:	<input type="checkbox"/>	ETA	Destino dos efluentes líquidos	<input type="checkbox"/>	Rede de esgoto Sanepar
	<input type="checkbox"/>	ETA Caldeira		<input type="checkbox"/>	Rede pluvial
	<input type="checkbox"/>	ETDI		<input type="checkbox"/>	Corpo de água (rio, p.ex.)
	<input type="checkbox"/>	ETE		<input type="checkbox"/>	Infiltração no solo (sumidouro, p.ex.), ou recirculação

SEGMENTO	Origem da água (m³/mês)				Principais usos (m³/mês)								
	Água subterrânea	Água Superficial	Abastecimento Público	Outras fontes	Matéria prima	Processo Produtivo	Consumo Humano	Geração de vapor	Sistemas de resfriamento	Lavagem de pátios	Lavagem de equipamentos	Irrigação de jardins	Outros
Energia e gás			190599				200	181069,05					9329,95
Química		190584	133419				3600	108000	212400				
Madeira e florestamento	2694		29390			4557	527	26000	1000				
Automotivo			12000			4800	2900		4300				
Química			12000		120	2280	120	1080	3720		4560		120
Química	3630		10600				195,75	3630	7780				2625
Metalurgia	3600		5000				900						
Automotivo			5000			3000	1000		500	200			
Alimentos			2761				721,5						2040
Metalurgia	900		2000			1800	300	60	30				170
Construção e imobiliário	2153		3006	800	5062		510						
Eletroeletrônicos e	2050						910	25	330		5		780
Automotivo			5656	1012		1000	1872	1872	1624		300		
Metalurgia			1806				194,7						1610
Energia e gás			1879				168,75		1315,3				444,95
Máquinas e equipamentos			1910			980	750		80			100	
Têxtil			1600				420		1200				
Energia e gás			900				200						700
Automotivo	500					250	200					50	
Energia e gás			1000			890	110						
Química			953		285,9	285,9	57,18	238,25	85,77				405
Máquinas e equipamentos			726				627					99	
Transportes e logística	520	1040	130			1300							650
Comunicação, editoração e			979				264,6						710
Transportes e logística			617			550	67						
Transportes e logística	22		455				455				22		
Máquinas e equipamentos			472				693						
Máquinas e equipamentos			600				247,5						352,5
Têxtil			470			120	20		65	40	20		205

**APÊNDICE 2 - INVENTÁRIOS DE DEMANDAS DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO
PÚBLICO E INDUSTRIAL ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (2012-2013)**

Segmento	Número de empregados	Entre os raios (Km)	Média mensal de fornecimento de água da CSL (m³/mês)	Estimativa teórica de consumo humano de água (m³/mês)	Estimativa do potencial para fornecimento de água de reúso (m³/mês)
Energia e gás	100	Entre 01 - 03	196871	225	196646
Química	415	Entre 05 - 10	131252	933,75	130318,25
Química	120	Entre 03 - 05	69584	234	69350
Metalurgia	600	Entre 05 - 10	33900	1170	32730
Madeira e florestamento	1200	Entre 03 - 05	29103	2340	26763
Alimentos	4700	Entre 05 - 10	23228	9165	0
Automotivo	3200	Entre 05 - 10	12985	7200	5785
Química	170	Entre 05 - 10	11179	382,5	10796,5
Química	110	Entre 03 - 05	10329	214,5	10114,5
Alimentos	400	Entre 03 - 05	10328	780	0
Química	120	Entre 03 - 05	10235	234	10001
Química	87	Entre 03 - 05	7927	195,75	7731,25
Máquinas e equipamentos	1900	Entre 05 - 10	8657	3705	4952
Metalurgia	400	Entre 05 - 10	4823	900	3923
Automotivo	600	Entre 05 - 10	4356	1350	3006
Máquinas e equipamentos	1300	Entre 03 - 05	4286	2535	1751
Alimentos		Entre 03 - 05	4267	0	0
Automotivo	1900	Entre 05 - 10	5400	3705	1695
Metalurgia	524	Entre 05 - 10	471	1021,8	-550,8
Metalurgia	2000	Entre 03 - 05	2880	3900	-1020
Alimentos	422	Entre 03 - 05	2761	822,9	0
Metalurgia	280	Entre 03 - 05	2630	462	2168
Construção e imobiliário	460	Entre 03 - 05	2549	897	1652
Máquinas e equipamentos	558	Entre 05 - 10	2544	1088,1	1455,9
Eletroeletrônicos e	916	Entre 05 - 10	2430	1786,2	643,8
Comunicação, editoração e	6000	Entre 05 - 10	2378	11700	-9322
Metalurgia	117	Entre 03 - 05	1975	193,05	1781,95
Energia e gás	75	Entre 05 - 10	1879	168,75	1710,25
Máquinas e equipamentos	350	Entre 03 - 05	1839	577,5	1261,5
Têxtil	400	Entre 03 - 05	1730	900	830
Alimentos	2500	Entre 03 - 05	3467	4875	0
Alimentos	500	Entre 05 - 10	1540	975	0
Construção e imobiliário	100	Entre 03 - 05	1415	195	1220
Comunicação, editoração e	1200	Entre 05 - 10	1289	2340	-1051
Papel e papelão	320	Entre 01 - 03	1090	624	466
Metalurgia	500	Entre 05 - 10	1083	975	108
Metalurgia	180	Entre 03 - 05	1033	324	709
Alimentos		Entre 05 - 10	1023		0
Energia e gás	50	Entre 05 - 10	960	112,5	847,5
Cosméticos e perfumaria	250	Entre 05 - 10	946	487,5	458,5
Automotivo	300	Entre 03 - 05			0
Cosméticos e perfumaria		Entre 03 - 05	871	871	0
Energia e gás	6	Entre 05 - 10	852	13,5	838,5
Química	42	Entre 03 - 05	827	69,3	757,7
Máquinas e equipamentos	380	Entre 03 - 05	816	627	189
Construção e imobiliário		Entre 03 - 05	777	777	0
Construção e imobiliário		Entre 05 - 10	731	731	0
Metalurgia	200	Entre 05 - 10	695	390	305
Transportes e logística	1868	Entre 05 - 10	673	3082,2	-2409,2
Comunicação, editoração e	98	Entre 05 - 10	662	176,4	485,6
Alimentos		Entre 05 - 10	645		0
Máquinas e equipamentos	200	Entre 05 - 10	621	390	231
Transportes e logística	30	Entre 05 - 10	617	67,5	549,5
Transportes e logística	354	Entre 05 - 10	590	584,1	5,9
Máquinas e equipamentos	358	Entre 05 - 10	583	590,7	-7,7
Química	130	Entre 05 - 10	558	253,5	304,5
Eletroeletrônicos e		Entre 03 - 05	529	529	0
Transportes e logística		Entre 03 - 05	432	432	0
Têxtil	165	Entre 05 - 10	473	371,25	101,75
Eletroeletrônicos e	350	Entre 05 - 10	497	682,5	-185,5
Eletroeletrônicos e	375	Entre 05 - 10	487	731,25	-244,25
Têxtil	65	Entre 05 - 10	403	126,75	276,25
Automotivo	280	Entre 05 - 10	429	546	0
Máquinas e equipamentos	400	Entre 05 - 10	511	660	-149

INVENTÁRIO CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Segmento	Número de empregados	Entre os raios (Km)	Média mensal de captação de água subterrânea (m³/mês)
Papel e papelão	1700	Entre 05 - 10	2100
Energia		Entre 01 - 03	14000
Química	50	Entre 03 - 05	6000
Construção e imobiliário		Entre 05 - 10	1440
Metalurgia		Entre 05 - 10	1026
Metalurgia		Entre 05 - 10	9180
Metalurgia		Entre 05 - 10	10800
Máquinas e equipamentos	40	Entre 03 - 05	1200
Construção e imobiliário	80	Entre 03 - 05	1040
Química		Entre 03 - 05	3600
Química		Entre 03 - 05	4080
Alimentos		Entre 05 - 10	2880
Alimentos		Entre 05 - 10	4050
Alimentos		Entre 05 - 10	3600
Máquinas e equipamentos	725	Entre 05 - 10	936
Química		Entre 03 - 05	2304
Química		Entre 03 - 05	1320
Madeira e florestamento		Entre 03 - 05	3240
Cosméticos e perfumaria		Entre 03 - 05	9600
Alimentos		Entre 03 - 05	1540
Automotivo		Entre 03 - 05	1820
Metalurgia	2000	Entre 03 - 05	2880
Metalurgia		Entre 03 - 05	4200
Metalurgia		Entre 03 - 05	4800
Automotivo	3500	Entre 03 - 05	2700
Automotivo		Entre 03 - 05	5400
Alimentos		Entre 05 - 10	4200
Alimentos		Entre 05 - 10	1200
Máquinas e equipamentos	550	Entre 05 - 10	3000
Eletrônicos	675	Entre 03 - 05	6264
Eletrônicos		Entre 03 - 05	2448
Cosméticos e perfumaria		Entre 05 - 10	528
Transportes		Entre 03 - 05	1440
Máquinas e equipamentos		Entre 05 - 10	150
Transportes		Entre 05 - 10	1800
Alimentos		Entre 03 - 05	900
Alimentos		Entre 03 - 05	4200
Alimentos		Entre 03 - 05	2400
Alimentos		Entre 03 - 05	6000
Alimentos		Entre 03 - 05	2700
Construção e imobiliário		Entre 03 - 05	2250
Construção e imobiliário		Entre 03 - 05	3120
Química		Entre 03 - 05	9720
Construção e imobiliário		Entre 03 - 05	1200
Construção e imobiliário		Entre 03 - 05	2100
Construção e imobiliário		Entre 03 - 05	2040
Construção e imobiliário		Entre 03 - 05	1500
Química		Entre 03 - 05	4500
Têxtil		Entre 05 - 10	3600
Têxtil		Entre 05 - 10	10800
Indústria de plásticos		Entre 05 - 10	3240
Indústria de plásticos		Entre 05 - 10	7128
Comunicação, editoração e		Entre 05 - 10	2400
Comunicação, editoração e		Entre 05 - 10	2400
Produtos diversos	373	Entre 03 - 05	5100
Indústria de plásticos	170	Entre 03 - 05	2160